

THE PLANNING OF THE UREA BULK JETTY IN BONTANG, EAST BORNEO

Name : PUTRI ARIFIAN TI
Register Number : 3108.100.046
Major : CIVIL ENGINEERING
Supervisor : IR.DYAH IRIANI W, MSC.
CAHYA BUANA ST., MT

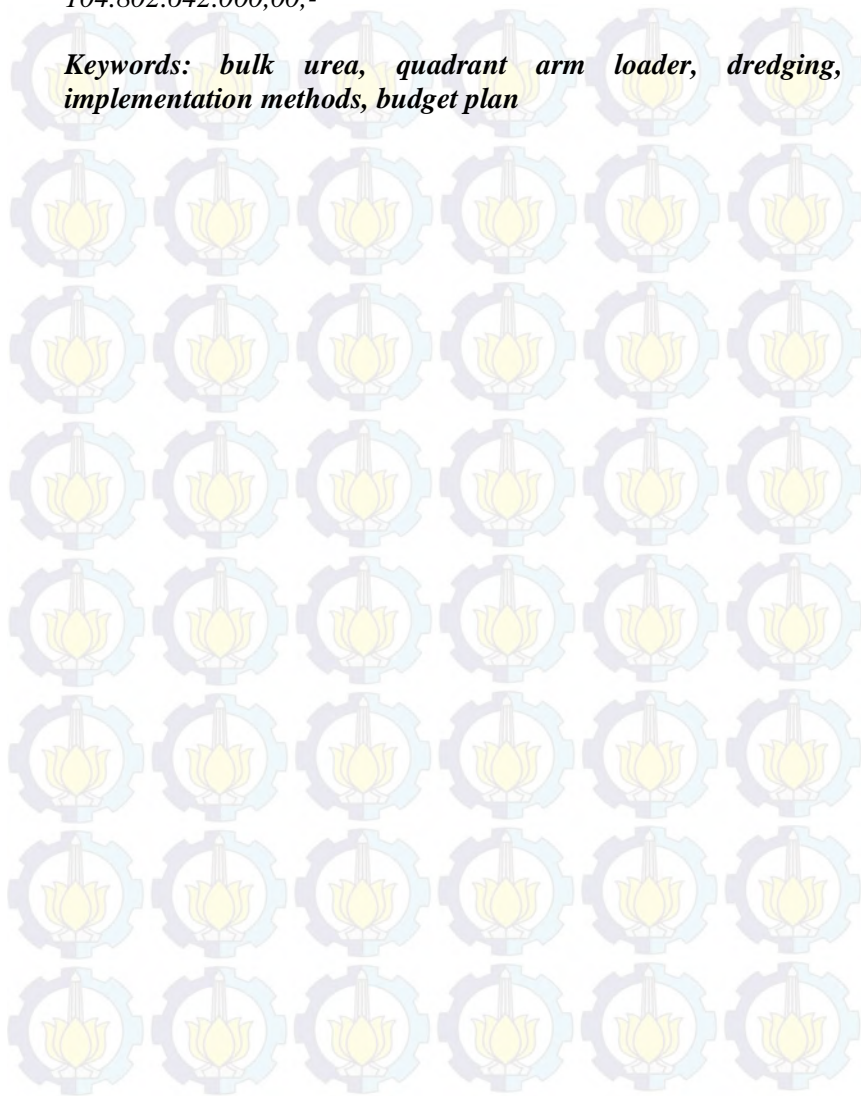
Bontang is a region whose economies are supported by industrial activities, especially the LNG industry, fertilizer, and coal. After the LNG industry, the second largest is the fertilizer industry which is the main industrial commodities are ammonia and urea. Urea is a common material being transported in dry bulk form, and in large quantities at a time. Demand for urea production is increasing from year to year. Even in the period between 2005 and 2007, production increased by 8000 tonnes to meet domestic needs alone. This led to the need to facilitate the development of freight transport in bulk and at a time. Therefore, it is necessary to develop the sea transport (ports) specifically bulk urea to facilitate the distribution process.

The purpose of this final assignment is to get a layout that precisely matches the requirements and to plan the structure of the dock to the ship loaded with a capacity of 30.000 DWT bulk urea and implementation of appropriate methods to carry out such development as well as to estimate how much the construction cost incurred.

From the analysis, it was found that the jetty planned to be Quadrant Arm Loader system, consisting of a trestle structure with the dimensions of 45 x 4 m², pivot with the dimensions of 4 x 4 m², with a loading arm radial quadrant shape, breasting dolphin with the dimensions of 5.6 x 6.4 m², and mooring dolphin with the dimensions of 5.6 x 5.6 m². In the dredging calculation, the volume total to be dredged is 546,898.828 m³ and on the

budget plan, the obtained required fee is Rp. 104.802.642.000,00,-

Keywords: bulk urea, quadrant arm loader, dredging, implementation methods, budget plan



PERENCANAAN DERMAGA CURAH UREA DI KOTA BONTANG, KALIMANTAN TIMUR

Nama Mahasiswa : PUTRI ARIFIANTI
NRP : 3108.100.046
Jurusan : TEKNIK SIPIL FTSP – ITS
Dosen Pembimbing : IR. DYAH IRIANI W, MSC.
CAHYA BUANA ST., MT

Bontang adalah wilayah yang perekonomiannya ditopang oleh kegiatan industri, terutama industri LNG, pupuk, dan batu bara. Setelah LNG, industri yang terbesar adalah industri pupuk. Industri yang komoditi utamanya adalah amoniak dan urea. Urea adalah bahan yang biasa diangkut dalam bentuk curah kering, dan dalam jumlah yang besar dalam satu waktu. Permintaan akan produksi urea semakin meningkat dari tahun ke tahun. Bahkan dalam kurun waktu antara 2005 dan 2007, produksinya mengalami peningkatan sebesar 8000 ton untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri saja. Hal ini menyebabkan perlunya pengembangan sarana transportasi yang memudahkan pengangkutan dalam jumlah besar dan dalam satu waktu. Oleh karena itu, perlu dikembangkannya transportasi laut (pelabuhan) khusus curah urea yang dapat memudahkan proses distribusi.

Adapun tujuan dari perencanaan ini adalah untuk mendapatkan layout dermaga yang tepat sesuai dengan kebutuhan dan dapat merencanakan struktur dermaga untuk kapal bermuatan curah urea berkapasitas 30.000 DWT dan metode pelaksanaan yang tepat untuk melaksanakan pembangunan tersebut serta dapat memperkirakan berapa biaya pembangunan yang dikeluarkan.

Dari hasil analisis, didapatkan bahwa tipe dermaga jetty yang direncanakan adalah dermaga dengan sistem Quadrant Arm Loader, yang terdiri dari struktur trestle dengan dimensi $45 \times 4 \text{ m}^2$, pivot dengan dimensi $4 \times 4 \text{ m}^2$, radial arm loading dengan bentuk quadrant, breasting dolphin dengan dimensi $5,6 \times 6,4 \text{ m}^2$,

dan mooring dolphin dengan dimensi 5,6 x 5,6 m². Pada perhitungan pengerukan, total pengerukan kolam dermaga sebesar 546898,828 m³ dan pada rencana anggaran biaya, didapatkan jumlah biaya yang diperlukan adalah Rp. 104.802.642.000,00,-

Kata kunci: urea curah, quadrant arm loader, pengerukan, metode pelaksanaan, rencana anggaran biaya

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengumpulan dan Analisis Data

2.1.1 Data Hidrooseanografi

a. Data Pasang Surut

Gerakan permukaan air di laut berubah-ubah baik dilihat dari waktu maupun tempat. Perubahan ini disebut pasang surut. Pasang surut terjadi akibat adanya gaya tarik menarik antara matahari, bulan dan bumi. Pengaruh posisi matahari terjadi pada pola pasang surut dalam satu siklus panjangnya yang terjadi 1 bulan sekali atau ± 30 hari. Pada posisi Bulan ditengah antara Bumi dan Matahari akan terjadi rangkaian pasang dan surut yang perbedaannya besar disebut *Spring tide*, sedang pada posisi Bumi diantara Bulan dan Matahari akan menghasilkan *Neap tide*,

Perubahan pasang surut seiring dengan perubahan posisi diantara ketiganya. Akibat adanya fenomena pasang surut tersebut, maka elevasi muka air laut selalu berubah secara periodik. Untuk itu diperlukan suatu elevasi yang dapat dijadikan sebagai pedoman didalam perencanaan suatu pelabuhan. Beberapa elevasi tersebut adalah elevasi permukaan air tertinggi (HWS), elevasi muka air rata-rata (MSL), elevasi muka air terendah (LWS).

Data pasang surut dipergunakan untuk melengkapi kebutuhan penggambaran peta bathymetri (peta kontur kedalaman laut), dan mengetahui posisi muka air laut absolut terendah, dan pola pasang surutnya. Selanjutnya posisi air surut terendah berdasar pola pasang surut setempat digunakan sebagai acuan untuk penetapan elevasi kontur tanah dan elevasi seluruh bangunan, sehingga kondisi kedalaman perairan

dan elevasi posisi kering dari struktur dan wilayah darat dapat ditentukan.

Komponen penting yang perlu diketahui sebagai hasil analisis data pasang surut adalah :

- LWS (*Low water Spring*) merupakan hasil perhitungan level muka air rata-rata terendah (surut), sering disebut juga MLWS (*Mean Low Water Surface*).
- MSL (*Mean Sea Level*) adalah elevasi rata-rata muka air pada kedudukan pertengahan antara muka air terendah dan tertinggi.
- HWS (*High Water Spring*) adalah elevasi rata-rata muka air tertinggi(pasang), disebut juga MHWS (*mean high water surface*).

b. Data Arus

Pada umumnya arus yang terjadi di sepanjang pantai disebabkan oleh perbedaan muka air pasang surut antara satu lokasi dengan lokasi yang lain, sehingga perilaku arus dipengaruhi pola pasang surut. Arus terjadi akibat adanya perubahan ketinggian permukaan air laut. Perubahan tersebut akan menyebabkan pergerakan air secara horisontal.

Salah satu metode untuk mendapatkan kecepatan arus adalah dengan menggunakan alat *Currentmeter*. Pengambilan data dilakukan sedikitnya di tiga titik secara bersamaan, agar pola arus yang ada dapat terwakili. Setiap pengukuran dilakukan dalam tiga pengamatan, yaitu pada kedalaman $0.2d$, $0.6d$, dan $0.8d$ dimana d adalah kedalaman perairan pada posisi pengukuran.

Kegunaan data arus pada perencanaan pelabuhan untuk:

- Menghindari pengaruh tekanan arus berarah tegak lurus kapal (*cross currents*), agar dapat

bermanuver dengan cepat dan mudah dan dalam rangka evaluasi kondisi stabilitas garis pantai

- Pada umumnya yang dibutuhkan adalah mengetahui frekuensi arah dan kecepatan arus terhadap pola aliran pasang surut
- Pada pelabuhan yang berada pada sungai, data arus digunakan untuk menghitung sediment transport

c. Peta Bathymetry

Peta bathymetri berfungsi untuk mengetahui kedalaman dasar laut atau dasar sungai sehingga kapal aman untuk bermanuver dan perencanaan struktur dermaga dapat dilakukan secara tepat. Peta bathymetri menunjukkan kontur kedalaman dasar laut diukur dari posisi 0.00 m LWS atau pada beberapa peta untuk keperluan tertentu digunakan patokan 0.00 m CD (*Chart Datum* = MSL).

Pembuatan peta bathymetri merupakan kegiatan pengumpulan data kedalaman dasar laut dengan metode penginderaan atau rekaman dari permukaan dasar perairan, yang akan diolah untuk menghasilkan relief dasar perairan, sehingga dapat digambarkan susunan dari garis-garis kedalaman (kontur). Pemetaan kondisi dasar perairan tersebut dikonversikan dalam keadaan surut terendah atau LWS (*Low Water Surface*).

Survey Bathymetri dapat dilakukan dengan beberapa metode, salah satu metode tersebut dilaksanakan seperti berikut :

- Menentukan koordinat titik-titik di darat untuk tempat theodolit, dengan menggunakan jalur pengukuran dengan jarak antara jalur pengukuran 20 meter.

- Menempatkan masing-masing theodolit pada titik-titik di darat yang telah ditentukan koordinatnya.
- Untuk mendapat lintasan pengukuran sesuai dengan jalur pengukuran, maka TA sebagai theodolit tetap dan TB sebagai theodolit pengarah kapal yang setiap saat berpindah ke titik grid berikutnya atau jalur pengukuran.
- Kapal atau perahu yang telah terpasang alat pengukur gema, dijalankan perlahan-lahan dan diarahkan pada jalur pengukuran

2.1.2 Data Tanah

Penyelidikan tanah dilakukan guna mengetahui parameter dan data-data dari tanah dasar yang akan digunakan untuk perencanaan dermaga, trestle dan reklamasi. Penyelidikan tanah dilakukan dalam dua tahap yaitu penyelidikan lapangan dan analisis laboratorium. Penyelidikan lapangan yang dilakukan biasanya berupa pemboran (*boring*) yang bertujuan untuk mendapatkan undisturbed sample dari tanah, pengujian SPT untuk mendapatkan nilai N-SPT yang menunjukkan besar kekerasan tanah, dari nilai SPT yang didapatkan ini dapat digambarkan stratigrafi tanah yaitu lapisan tanah berdasarkan SPT atau kekerasannya, serta penyelidikan *Vane Shear Test* untuk mendapatkan nilai kohesi dari tanah. Sedangkan analisis laboratorium dilakukan untuk menyelidiki lebih lanjut sampel tanah yang didapatkan.

2.1.3 Data Kapal

Data kapal diperlukan untuk mengetahui besar dan dimensi kapal yang akan digunakan. Data kapal yang diperlukan dalam perencanaan adalah bobot kapal, panjang kapal (LOA), lebar kapal dan draft/sarat penuh kapal.

2.1.4 Data Fasilitas Alat Pelabuhan

Data alat yang digunakan dalam terminal sangat menentukan pembebanan dalam perencanaan. Data alat yang digunakan meliputi data *conveyor belt*, *shiploader* dan alat lainnya yang akan digunakan.

2.2 Perencanaan Layout

2.2.1 Layout Perairan

a. Alur Masuk (*Entrance Channel*)

Alur masuk berawal dari mulut pelabuhan hingga kapal mulai berputar, parameter yang harus diketahui mencakup kedalaman, lebar dan panjang alur.

b. Kolam Putar (*Turning Basin*)

Kolam putar berada di ujung alur masuk atau dapat diletakkan di sepanjang alur bila alurnya panjang ($> S_d$). Kapal diharapkan bermanuver pada kecepatan rendah (mendekati nol) atau dipandu. Areal yang disediakan dibatasi dengan bentuk lingkaran berdiameter (D_b). Kedalaman perairan dapat disamakan dengan alur masuk.

$D_b = 2 * LOA$ (untuk kapal bermanuver dengan dipandu)

$D_b = 4 * LOA$ (untuk kapal bermanuver tanpa bantuan pandu)

c. Kolam Dermaga

Kolam dermaga (basin), berada di depan dermaga dan luasan ini perlu ditentukan bila kedalaman perairan perlu dikeruk dan untuk menentukan jarak antar dermaga yang saling berhadapan.

Secara keseluruhan ukuran kolam sebagai berikut:

Panjang = $1,25 * LOA$, bila dengan dibantu kapal pandu

= $1,50 * LOA$, bila tanpa dibantu kapal pandu

Lebar = $4 * B + 50 \text{ m}$, 1 dermaga berhadapan

$$\begin{aligned}
 &= 2 * B + 50 \text{ m} , &> 1 \text{ dermaga berhadapan} \\
 &= 1,25 B , &\text{dermaga bebas}
 \end{aligned}$$

d. Kedalaman Perairan

Kedalaman Perairan, pada prinsipnya harus lebih dalam dari draft penuh kapal terbesar, ditambah alokasi untuk gerakan osilasi akibat gelombang dan angin maupun arus serta squad dan trim sebagai konsekuensi pergerakan kapal, ditambah lagi alokasi untuk ketidak teraturan kedalaman perairan dan kondisi tanah dasar laut. Secara garis besar adalah sebagai berikut :

Perairan Tenang, kedalaman perairan = $1,1 * \text{draft kapal}$
 Perairan terbuka bergelombang, kedalaman perairan = $1,2 * \text{draft kapal}$

2.2.2 Layout Dermaga

Perencanaan layout daratan untuk muatan curah urea ada dua cara, yaitu *Bulk Ship Loader* (BSL) dan *Quadrant Arm Loader* (QAL). Untuk perencanaan BSL, strukturnya bertipe wharf atau strukturnya menempel pada garis pantai. Pada Tugas Akhir ini, dermaga type wharf direncanakan meliputi perhitungan panjang dermaga, lebar dermaga, dan elevasi dermaga. Pada perencanaan QAL, strukturnya bertipe jetty, yaitu struktur dermaganya menjorok ke arah lautan yang berfungsi untuk mengurangi volume pengerukan. Pada Tugas Akhir ini, yang digunakan jetty berbentuk (seperempat lingkaran) dan perencanaan yang ada meliputi perencanaan kebutuhan *loading platform*, *catwalk*, *breasting dolphin*, dan *pivot structure* untuk penopang crane ship loader agar sesuai dengan standart yang telah ditentukan. Dengan 2 metode diatas, maka dapat dipilih metode mana yang paling sesuai dengan kondisi daerah Bontang.

a. *Bulk Ship Loader (BSL)*

1. Panjang Dermaga

Secara prinsip panjang dermaga dapat dihitung dengan rumusan sebagai berikut:

$$L_p = 1,1 \text{ LOA}$$

$$L_p = n\text{LOA} + (n-1) 15 + 50$$

2. Lebar Dermaga

Lebar dermaga disesuaikan dengan ruang operasional bongkar muat. Lebar apron antara 15 sampai 50 m.

3. Elevasi Dermaga

Penentuan elevasi dermaga (*crown heights*) sangat dipengaruhi oleh beda pasang surut di lokasi dermaga, dimana elevasi dermaga harus lebih tinggi dari muka air tertinggi (HWS). Sehingga penentuan elevasi dermaga dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$\text{Elevasi dermaga} = \text{Beda pasang surut} + (1 \text{ s/d } 1,5 \text{ m}).$$

b. *Quadrant Arm Loader (QAL)*

1. *Loading Platform*

Struktur *Loading platform* yaitu struktur berbentuk seperempat lingkaran yang menjadi jalannya roda *shiploader* yang mengangkat urea curah dari *conveyor belt* menuju ke kapal. Dimensi utama dari *loading platform* ditentukan oleh jarak antar rel *shiploader* rencana.

2. *Catwalk*

Struktur *catwalk* berfungsi sebagai tempat diletakkannya *conveyor belt* yang berjalan dari darat menuju ke tempat *shiploader*. Panjang *catwalk* tergantung dari jarak struktur *loading platform* terhadap garis pantai. Struktur *catwalk* juga berfungsi menghubungkan antar *dolphin*.

3. *Pivot Structure*

Struktur ini berfungsi sebagai penopang crane *shiploader* yang nantinya menyalurkan urea dari *conveyor belt* menuju kapal angkut.

4. *Breasting Dolphin* (dolphin penahan)

Breasting Dolphin adalah bagian struktur untuk menyerap energi kinetik kapal yang bersandar, memegang kapal, mengikat *surface line* kapal. Pada struktur dolphin penahan dilengkapi fender untuk meredam tumbukan kapal ketika bertambat. *Breasting Dolphin* harus bersifat fleksibel karena harus mampu menyerap EK kapal. Jarak antar *Breasting Dolphin* dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

Outer = $0.25 - 0.40$ LOA Kapal terbesar

Inner = $0.25 - 0.40$ LOA Kapal terkecil

5. *Mooring Dolphin* (dolphin penambat)

Mooring Dolphin adalah bagian struktur untuk menahan gaya tarikan kapal/mengikat kapal. *Mooring Dolphin* harus ditempatkan berjarak 35 – 50m di belakang *Berthing face* agar sudut vertical tidak melebihi 30^0 . Jarak antar *Mooring Dolphin* ditentukan dengan menggunakan rumus:

Outer = 1.35 LOA Kapal terbesar

Inner = 0.80 LOA Kapal terbesar

Penempatan *Mooring Dolphin* harus diatur sedemikian rupa sehingga sudut horizontal yang dibutuhkan oleh tali tidak melebihi ketentuan yang berlaku. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.1.

6. Ketentuan Perencanaan Layout Daratan

- Sudut horizontal *Breast mooring line* tidak lebih dari 15^0

- *Sudut vertical Spring mooring line* tidak lebih dari 10^0
- *Loading platform* ditempatkan agak kebelakang agar tidak terkena tumbukan kapal
- Jarak *Breasting Dolphin* tergantung dari selisih panjang antara kapal terbesar dan terkecil, apabila masih dalam range yang ditentukan boleh dipakai dua *Breasting Dolphin* saja.

7. Trestle

Trestle adalah bagian dari struktur jetty yang berfungsi untuk menghubungkan jetty dengan daratan apabila jetty terletak jauh dari tepi pantai. Panjang *Trestle* ditentukan oleh panjang yang dibutuhkan untuk menghubungkan jetty sampai ke darat. Sedangkan lebar *Trestle* ditentukan berdasarkan lalu lintas apa saja yang lewat di atasnya dan fasilitas yang akan dipasang di atasnya.

2.3 Perhitungan Struktur Dermaga

2.3.1 Perhitungan Fender dan Boulder

a. Perhitungan Fender

Fender merupakan system konstruksi yang dipasang di depan konstruksi dermaga. Berfungsi sebagai penahan beban tumbukan kapal pada waktu merapat serta memindahkan beban akibat tumbukan menjadi gaya reaksi yang mampu diterima konstruksi dan kapal secara aman. Perencanaan fender sebaiknya dilakukan terlebih dahulu sebelum konstruksi dermaga dihitung. Yang harus dilakukan dalam perencanaan fender adalah : gaya horisontal yang harus mampu ditahan oleh bangunan dermaga, penentuan ukuran fender/pemilihan tipe fender berdasarkan gaya

tersebut, dan cara pemasangan fender baik arah vertikal maupun arah horizontal.

- Gaya pada fender (E_f) dihitung dengan rumus :

$$E_f = C_H \cdot C_E \cdot C_C \cdot C_S \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot W_S \cdot V^2 \right) / g [\text{ton} - m]$$

Dimana :

C_H = Koefisien massa hydrodinamis, merupakan faktor untuk memperhitungkan besarnya massa air yang bergerak di sekeliling kapal dan massa air ini menambah besar massa kapal yang merapat. Rumus yang digunakan :

$$C_H = 1 + \frac{2\pi \cdot D}{2C_b \cdot B} \approx 1 + \frac{2D}{B}$$

Disini terlihat bahwa harga C_H tergantung dari ukuran kapal yaitu D untuk draft kapal dan B untuk lebar kapal

C_E = Koefisien ecentricity, merupakan koefisien perbandingan antara energi yang tersisa akibat merapatnya kapal terhadap energi kinetik waktu merapat.

$$C_E = 1 + \frac{1}{1 + (\ell / r)^2}$$

Disini terlihat bahwa harga C_E tergantung dari posisi bagian kapal yang menumbuk lebih dulu. Dari rumus di atas dibutuhkan harga ℓ dan r , dimana :

ℓ = merupakan jarak terpendek antara centre of grafity (c.g) kapal sampai ke titik tumbuknya. Titik tumbuk,

merupakan titik sentuh pertama kapal pada tambatan, dicari sebesar :

$\ell = 4 \text{ Loa}$ untuk Kade, Jetty

$\ell = 1/3 \text{ Loa}$ untuk Dolphin

r = jari-jari perputaran dengan pusat c.g kapal, panjang jari-jari dari c.g sampai titik tumbuk dimana $r = 0.2 \text{ LOA}$.

C_c = Configuration Coefficient. Adalah koefisien untuk konfigurasi struktur tambatan dalam rangka memperhitungkan adanya efek bantalan air. Efek ini timbul karena adanya massa air yang terjepit antara posisi kapal merapat dengan tambatan. Bila tambatan merupakan konstruksi solid (misal = kade) maka adanya efek bantalan akan mengurangi energi tumbukan, sedang pada konstruksi Open pier atau Jetty air tidak membentuk bantalan. $C_c = 1$ untuk jetty, open pier.

C_s = Softness Coefficient. Untuk mengantisipasi pengaruh deformasi elastis terhadap badan kapal maupun konstruksi tambatan. Harga $C_s = 0,9 - 1,0$, dan biasanya diambil $C_s = 1,0$ (tidak ada deformasi).

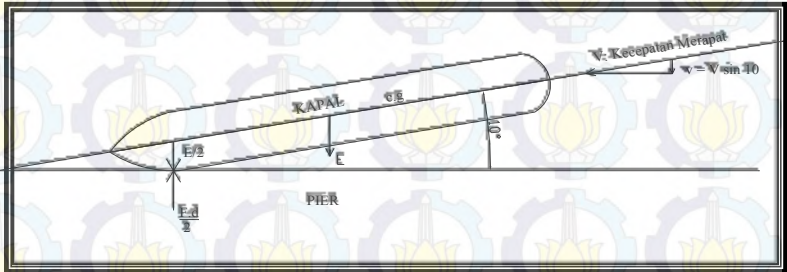
W_s = Displacement Tonage. Merupakan berat total kapal dan muatannya pada saat kapal dimuati sampai garis draft atau plinsoll mark.

V = Kecepatan kapal waktu (m/s).
 g = gravitasi (m/s^2)

- Energi yang diserap oleh system fender dan dermaga biasanya ditetapkan $\frac{1}{2} E_f$. Tahanan

naik dari nol sampai maksimum, dan kerja yang dilakukan oleh dermaga adalah :

$$K = \frac{1}{2} F \cdot d$$



Gambar 2.1 Benturan Kapal pada Dermaga

Gambar 2.1 menunjukkan kapal yang membentur dermaga pada saat merapat. Energi yang membentur dermaga adalah $\frac{1}{2} E$. Karena benturan tersebut fender memberikan gaya reaksi F . Apabila d adalah defleksi fender, maka terdapat hubungan sebagai berikut ini:

$$\frac{1}{2} E = \frac{1}{2} F \cdot d$$

$$F = \frac{E}{d}$$

Dimana :

F = gaya bentur yang diterima sistem fender (ton)

d = defleksi fender (m)

- Pemilihan type fender disesuaikan dengan gaya E_f dan gaya reaksi (F) yang harus ditahan oleh bangunan. Pemasangan fender terdapat dua cara yaitu :

- a. Arah Vertikal, dipasang agar kapal rendah pun dapat merapat mengenai fender.
- b. Arah Horizontal, harus sesuai dengan radius “bow” dari kapal dan tidak ada badan kapal yang menyentuh dermaga. Jarak horizontal pemasangan fender dapat dilihat berdasarkan kedalaman perairanannya yang dapat kita hitung dengan rumus berikut

$$L = 2\sqrt{r^2 - (r - h)^2} \quad (18)$$

Dimana :

L = Jarak maksimum antar fender (m)

h = Tinggi efektif fender saat terjadi absorpsi energi (m)

r = Radius tekukan dari buritan (bow) kapal.

b. Perhitungan Boulder

Boulder merupakan konstruksi untuk mengikat kapal pada tambatan. Boulder harus mampu menerima gaya tarikan akibat kapal yang menambatkan talinya pada boulder tersebut.

- Gaya tarik boulder yang dipakai disesuaikan dengan bobot kapal sedangkan diameter boulder ditentukan dari gaya tarik tersebut. Gaya tarik boulder dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan diameter boulder dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Gaya Tarikan Kapal

Bobot Kapal (GRT)	Gaya Tarik pada Boulder (ton)	Gaya tarik pada Bitt (ton)
200 - 500	15	15
501 - 1000	25	25
1001 - 2000	35	25
2001 - 3000	35	35
3001 - 5000	50	35
5001 - 10000	70	50(25)
10001 - 15000	100	70(25)
15001 - 20000	100	70(25)
20001 - 50000	150	100(35)
50001 - 100000	200	100(50)

Sumber : *Technical Standard for Port and Harbour Facilities in Japan, 1991*

Keterangan :

- Gaya tarikan kapal pada boulder selain bekerja secara horizontal juga bekerja secara vertikal sebesar $\frac{1}{2}$ dari nilai yang tercantum dalam Tabel 2.1
- Gaya tarikan pada *bitt* untuk berbagai ukuran kapal seperti yang tercantum dalam Tabel 2.1 bekerja dalam semua arah.
- Gaya tarikan kapal dengan ukuran yang tidak tercantum dalam tabel tersebut (kapal dengan bobot kurang dari 200 ton dan lebih dari 100.000 ton) dan fasilitas tambatan pada cuaca buruk harus ditentukan dengan memperhatikan cuaca dan kondisi laut, konstruksi alat penambat dan data pengukuran gaya tarikan.
- *Bitt* digunakan untuk mengikat kapal dalam kondisi normal. Sedangkan *boulder* dengan ukuran yang lebih besar selain untuk mengikat

pada kondisi normal dan pada kondisi badai, juga dapat digunakan untuk mengarahkan kapal merapat ke dermaga atau untuk membelok/memutar terhadap ujung dermaga atau dolphin.

Tabel 2.2 Hubungan Diameter Boulder dengan Gaya Tarik Boulder

DIAMETER (CM)	15	20	25	30	35	40	45	50	55
GAYA TARIK IJIN (TON)	5	10	20	35	50	70	100	120	150

Sumber : Widyastuti, 2000

- Kontrol kekuatan sambungan baut boulder menggunakan metode Ultimate (LRFD). Metode ini mengambil anggapan bahwa akibat momen yang terjadi, tegangan tekan dipikul oleh pelat dan tegangan tarik dipikul oleh baut. Perencanaan sambungan baut boulder dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :

1. Menghitung momen lentur yang terjadi (Mu)

$$Mu = Pu \times e$$

Dimana :

Mu = Momen lentur yang terjadi (ton cm)

Pu = gaya tarik boulder (ton)

E = jarak antara gaya boulder sampai dasar boulder (cm)

2. Menghitung gaya geser yang dipikul tiap baut (Vu)

$$Vu = \frac{Pu}{n}$$

Dimana :

Vu = gaya geser yang dipikul baut (ton)

Pu = gaya tarik boulder (ton)

n = jumlah baut

3. Kontrol geser baut

- Tegangan Geser Baut (f_{uv})

$$f_{uv} = \frac{V_u}{A_b}$$

Dimana :

F_{uv} = Tegangan geser baut (kg/cm^2)

V_u = gaya geser yang dipikul baut (kg)

A_b = Luasan baut (cm^2)

- Kontrol Geser

$$f_{uv} < \phi_f 0,5 f_b^u$$

Dimana :

f_{uv} = Tegangan geser baut (kg/cm^2)

f_b^u = Tegangan putus baut (kg/cm^2)

ϕ_f = 0,75

4. Menghitung gaya tarik baut (T)

Beban Tarik (interaksi geser + tarik)

$$T_d = \phi_f f_t A_b \rightarrow f_t = (1,3 f_u^b - 1,5 f_{uv}) < f_u^b$$

$$T_{d \text{ baut}} = \phi_f 0,75 A_b f_u^b$$

Dimana :

f_{uv} = Tegangan geser baut (kg/cm^2)

f_b^u = Tegangan putus baut (kg/cm^2)

dari persamaan 20 dan 21 diambil terkecil

5. Mencari garis netral (a)

Garis netral didapat dari keseimbangan gaya yang terjadi

Gaya tekan = gaya tarik

$$f_{yp} a \cdot b = \Sigma T$$

$$a < S \text{ (OK!)}$$

Dimana :

f_{yp} = Tegangan leleh pelat (kg/cm^2)

T = Gaya tarik pada 1 baut

B = Lebar sambungan (arah tegak lurus gaya tarik)

S = Jarak baut

6. Kontrol momen

Momen rencana yang dapat dipikul sambungan :

$$\phi Mn = \frac{0,9 f_{yp} a^2 b}{2} + \sum_{i=1}^n T_i \cdot d_i$$

Kontrol Momen :

$$\mu < \phi Mn \dots (\text{OK!})$$

Dimana :

f_{yp} = Tegangan leleh pelat (kg/cm^2)

T = Gaya tarik pada 1 baut

d_i = jarak baut ke garis netral

7. Menentukan panjang pengangkuran (L)

Kebutuhan panjang pengangkuran pada pondasi:

$$L = \frac{0,85 T}{\pi d \tau_b}$$

2.3.2 Pembebanan Dermaga

a. Beban Vertikal

- **Beban Mati (Beban Sendiri Konstruksi)**
Beban mati adalah berat sendiri dari komponen struktur yang secara permanen dan konstan membebani selama waktu hidup konstruksi seperti, balok, poer, fender, dan bolder. Struktur dermaga lebih banyak menggunakan komponen beton bertulang sehingga berat volume beton yang dipakai adalah $2,5 \text{ t/m}^3$.
- **Beban Hidup Merata Akibat Muatan**
Beban hidup akibat muatan yang dianggap merata di atas dermaga dengan diambil sebesar 3 t/m^3 saat normal dan $1,5 \text{ t/m}^3$ pada saat terjadi gempa.
- **Beban Hidup Terpusat**
Beban hidup terpusat merupakan beban bergerak akibat peralatan pelabuhan yang ada diatas dermaga serta orang-orang yang berjalan diatasnya.

b. Beban Horizontal

- Gaya Akibat Tumbukan Kapal (Gaya Fender)

Gaya fender yang terjadi saat kapal sedang merapat berupa gaya pukul kapal pada fender akibat kecepatan pada saat merapat, serta akibat pergoyangan kapal oleh gelombang dan angin.

Gaya benturan kapal yang bekerja secara horizontal dapat dihitung berdasarkan energi benturan kapal. Hubungan antara gaya dan energi benturan tergantung pada tipe fender yang digunakan. Gaya fender yang terjadi dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$E_f = \frac{WV}{2g} C_E C_H C_S C_C$$

Dimana:

E_f = total energi kinetik yang diserap fender (ton.m)

g = percepatan gravitasi = $9,8 \text{ m/s}^2$

W = displacement tonnage (DWT) merupakan berat total kapal dan muatannya pada saat kapal di muati penuh sampai garis draft atau plinsoll mark.

V = kecepatan kapal waktu merapat.

C_E = Coefisien eccentricity, merupakan koefisien perbandingan antara energi yang tersisa akibat merapatnya kapal terhadap energi kinetik waktu merapat.

C_H = Coefisien massa hydrodinamis, merupakan faktor untuk memperhitungkan besarnya massa air yang bergerak di sekeliling kapal dan massa air ini menambah besar massa kapal yang merapat.

C_s = Softness coefficient, untuk mengantisipasi pengaruh deformasi elastis terhadap badan kapal maupun konstruksi tambatan.

C_c = Configuration coefficient, adalah koefisien untuk konfigurasi struktur tambatan dalam rangka memperhitungkan adanya efek bantalan air. Efek ini timbul karena adanya massa air yang terjepit antara posisi kapal merapat dengan tambatan. Bila tambatan merupakan konstruksi solid (misal kade atau wharf) maka adanya efek bantalan akan mengurangi energi tumbukan, sedang pada konstruksi open pier atau jetty, air tidak membentuk bantalan.

$C_c = 0,8$ untuk kade, wharf

$C_c = 1$ untuk jetty, open pier

- Gaya Akibat tarikan Kapal (Gaya Boulder)

Gaya tarik yang bekerja pada saat kapal sedang bertambat sangat berpengaruh pada stabilitas struktur dermaga karena gayanya cukup besar. Beban tarik ini akan ditahan oleh struktur boulder yang didisain untuk menahan gaya tarikan kapal, angin dan arus. Gaya tarik boulder diambil yang terbesar dari :

1. Kekuatan boulder yang dipakai yang besarnya ditentukan oleh ukuran kapal yang bertambat (lihat pada pembahasan Boulder).
2. Total dari gaya angin dan gaya arus yang bekerja pada badan kapal. Berikut ini adalah cara perhitungan gaya angin dan arus. Tekanan akibat arus pada kapal yang tertambat (P_c) dapat dihitung melalui rumusan berikut :

$$P_C = \frac{C_C \times \gamma_C \times A_C \times V_C^2}{2g}$$

Di mana :

γ_C = berat jenis air laut (=1,025 t/m³)

A_C = luasan kapal yang ada di bawah permukaan air (m²)

V_C = kecepatan arus (m/dt)

C_C = koefisien arus

= 1-1,5 (untuk perairan dalam)

= 2 (untuk kedalaman perairan=2xdraft kapal)

= 3 (untuk kedalaman perairan=1,5xdraft kapal)

= 6 (kedalaman perairan mendekati draft kapal)

Tekanan angin pada badan kapal yang ada di atas air dihitung dengan rumus :

$$P_W = C_W (A_W \sin \phi + B_W \cos \phi) \frac{V_W^2}{1600}$$

Dimana :

P_W =Tekanan angin pada kapal yang bertambat

C = Koefisien tekanan angin (Gambar 2.2)

Angin melintang → $C_W = 1,3$

Angin dari belakang → $C_W = 0,8$

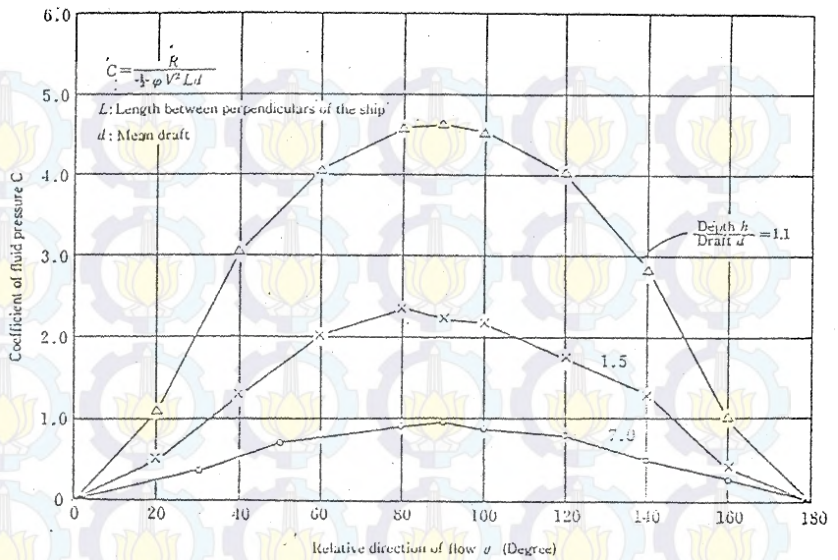
Angin dari depan → $C_W = 0,9$

A_W = Luasan proyeksi arah memanjang (m²)

B_W = Luasan proyeksi arah muka (m²)

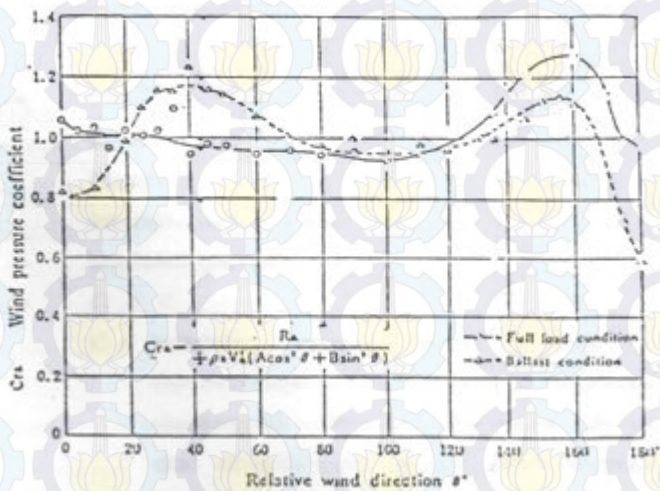
ϕ = Sudut arah datangnya angin terhadap centerline

V_W = Kecepatan angin (m/s)



Gambar 2.2 Koefisien Arus

Sumber : Widiastuti 2000



Gambar 2.3 Koefisien Tekanan Angin

Sumber : Widiastuti 2000

c. Gaya gempa

Dengan menggunakan program bantu SAP 2000, perhitungan beban gempa dilakukan secara dinamis dengan menggunakan respon spektra menurut SNI 03-1726-2002.

Besarnya gaya geser dasar nominal sebagai respons terhadap gempa rencana memiliki persamaan :

$$V_1 = \frac{C_1 \times I \times W_t}{R}$$

Dimana :

C_1 = nilai faktor respons gempa yang didapat dari spectrum respons gempa rencana menurut Gambar 2 SNI-1726-2002.

I = faktor keutamaan menurut Tabel 1 SNI-1726-2002.

W_t = berat total struktur, termasuk beban hidup yang sesuai.

R = faktor reduksi gempa representative dari struktur yang bersangkutan.

Besarnya periode getar bangunan memiliki persamaan :

$$T = C_t \times h_n^{3/4}$$

Dimana :

$C_t = 0,0488$ untuk bangunan yang lain (UBC 1630.2.2)

h_n = tinggi struktur bangunan tersebut (UBC 1630.2.2)

2.3.3 Struktur Catwalk

Struktur catwalk adalah salah satu fasilitas dari dermaga berbentuk QAL yang berfungsi sebagai tempat berjalannya manusia dari mooring dolphin menuju ke breasting dolphin atau sebaliknya.

Dalam tugas akhir ini direncanakan catwalk dengan profil *Circular Hollow Section* (CHS) dengan beberapa pertimbangan, diantaranya:

- Fabrikasi *Hollow Section* mudah dibentuk sesuai permintaan.

- Penampang bulat sehingga menjadi lebih estetik

Adapun kontrol dari profil CHS ini menggunakan *LRFD for Steel Hollow Structural Sections 2000* dengan tahapan sebagai berikut:

- Kontrol kekuatan balok

- Kontrol *Buckling*

$$\lambda = D/t$$

$$\lambda_p = 0.00448 E/f_y$$

Karena $\lambda < \lambda_p$ maka profil kompak

- Kontrol kelangsingan komponen

$$\lambda = l/r < 200 \text{ (OK)}$$

- Kontrol kuat leleh

$$\Phi P_n = 0.9 A_g f_y$$

- Kontrol kuat putus

$$A_n = A_g = 122.225 \text{ cm}^2$$

$$\Phi P_n = 0.75 A_e f_u$$

Kuat rencana tarik adalah kuat minimum dari kuat leleh dan putus dan harus lebih besar dari $P_{\text{tarik aktual}}$

- Kontrol Momen

$$S_x = \text{modulus penampang plastis} \\ = D^2 t - 2Dt^2 + 4/3 t^3$$

$$Z_{x,y} = \text{modulus penampang elastis} \\ = (\pi/32D)(D^4 - 2(D^2 - 2t)^4)$$

$$M_n = S_{x,y} \cdot f_y$$

$$M_n = Z_{x,y} \cdot 1.5 f_y$$

Dimana M_n diambil yang terkecil dan harus lebih besar dari M_{aktual}

- Kontrol Gaya Tekan (Axial Force)

$$\lambda_r = 0.114 E/f_y$$

$$\lambda_c = \frac{Kl}{r\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

$$F_{cr} = Q(0.658^{Q_{\lambda_c}^2})f_y$$

$$P_n = 0.85 F_{cr} \times A_g (4.2-1)$$

$$P_n > P_{\text{aktual}} \text{ (OK)}$$

- Kontrol Geser Bahan (Shear Force)

$$V_n = 0.9 F_{cr} \times A_g / 2$$

$$V_n > V_{\text{actual}} \text{ (OK)}$$

- Kontrol Tegangan Bahan (Yield Strength)

$$\sigma_{\text{aktual}} = \frac{P}{A} + \frac{M}{Z}$$

$$\sigma_{\text{ijin}} > \sigma_{\text{aktual}} \dots \text{(OK)}$$

- Kontrol Lendutan

$$\Delta_{\text{ijin}} = \frac{L}{180}$$

$$\Delta_{\text{ijin}} > \Delta_{\text{aktual}} \text{ (OK)}$$

2.3.4 Struktur Atas

Pada perencanaan Tugas Akhir ini, kebutuhan dermaga adalah untuk *loading* urea. Maka perencanaan struktur dermaga meliputi perencanaan *radial loading platform*, *breasting dolphin*, *pivot structure*, *mooring dolphin*, yang atasnya hanya terdiri dari balok dan *pile cap* (*poer*), serta *trestle* yang bagian atasnya terdiri pelat, balok memanjang, dan balok melintang.

Balok sering digunakan sebagai tumpuan kaki rel *shiploader*. Beban *shiploader* relatif berat dan tidak mengijinkan adanya lendutan sama sekali, maka pembeton balok harus sangat keras, kompak dan tidak ada kandungan gelembung udara..

Untuk penentuan momen dan gaya lintang dapat ditentukan berdasarkan hasil perhitungan SAP 2000 atau yang lain, atau dapat juga ditentukan berdasar balok menerus.

a. Analisis struktur

Analisis struktur bertujuan untuk mendapatkan output gaya dalam berupa gaya aksial, geser, dan momen. Analisis struktur dicari dengan dengan

menggunakan *software* SAP 2000 dan peraturan PBI'71.

Penentuan momen, gaya lintang dan gaya reaksi pada perletakan balok ditentukan berdasar perhitungan stabilitas menyeluruh (stabilitas 3 dimensi). Dengan menerapkan beberapa kombinasi pembebanan sesuai kondisi masing-masing dermaga, akan diperoleh hasil perhitungan pada tiap-tiap sambungan (joints) dan simpul, selanjutnya perlu dipilih yang menghasilkan angka maksimum untuk dipakai sebagai dasar perhitungan kebutuhan tulangan dan pengecekan kekuatan bahan.

b. Penulangan Plat

Pada perhitungan pelat diasumsikan terjepit penuh karena kekakuan balok dianggap jauh lebih besar dari kekakuan pelat sehingga pada tumpuan tidak terjadi perputaran. Menurut PBI 71 tabel 13.3.1 momen tumpuan dan momen lapangan menggunakan persamaan berikut:

$$Ml = 0,001 \cdot q \cdot lx^2 \cdot X$$

$$Mt = -0,001 \cdot q \cdot lx^2 \cdot X$$

Dimana :

Ml = momen lapangan pelat (tm)

Mt = momen tumpuan pelat (tm)

q = beban terbagi rata pelat (t/m)

lx = panjang bentang pendek pelat (m)

X = koefisien dari tabel 13.3.1

• Penulangan pelat

Pada pelat dipakai tulangan rangkap dengan asumsi bahwa struktur adalah statis tertentu.

Metode penulangan pelat meliputi :

- Menentukan besarnya momen Ultimate (M_u) pada pelat
- Menentukan perbandingan antara luas tulangan tarik dengan tulangan tekan (δ). Pada pelat dianggap tidak memerlukan tulangan tekan sehingga $\delta = 0$
- Menghitung nilai C_a dengan persamaan:

$$C_a = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M}{b \times \sigma'_a}}}$$

Dimana :

h = tinggi manfaat penampang

b = lebar penampang (untuk pelat = 1000mm)

M = momen ultimate

n = angka ekivalensi baja beton $\left(\frac{E_a}{E_s} \right)$

σ'_a = tegangan ijin baja (tabel 10.4.1 PBI'71)

- Mencari nilai ϕ dan ω dari tabel

Dari "*Tabel Perhitungan Lentur dengan Cara-n disesuaikan kepada peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 oleh Ir. Wiratman W*" .didapat nilai:

$$\Phi > \phi_o = \frac{\sigma'_a}{(n \times \sigma'_b)}$$

$100n \omega$

σ'_b = tegangan tekan beton akibat lentur tanpa atau dengan gaya normal (tabel 4.2.1 PBI 71)

- Mencari kebutuhan tulangan

$A_s = \omega \times b \times h$

- kontrol retak
berdasarkan PBI 1971 pasal 10.7.1b lebar retak yang diijinkan adalah 0.1 mm. lebar retak dihitung dengan rumus :

Tabel 2.3 Koefisien-koefisien ω_p, C_3, C_4, C_5

Uraian	ω_p	C_3	C_4	C_5
Balok persegi dan balok T yang mengalami lentu murni	$\frac{A}{b_o h}$	1,05	0,04	7,5
Balok persegi dan balok T yang mengalami lentu dengan gaya normal tekan	$\frac{A}{b(h-y)}$	1,05	0,07	12
Bagian - bagian konstruksi yang mengalami tarik aksial	$\frac{A}{B_t}$	1,05	0,16	30

Sumber: PBI 71

$$w = \alpha \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) \cdot 10^{-6}$$

Dimana:

c = tebal penutup beton (cm)

d = diameter batang polos atau pengenal (cm)

σ_a = tegangan baja yang bekerja ditempat yang retak (kg/cm^2)

A = luas tulangan tarik (cm^2)

b = lebar balok (cm)

h = tinggi manfaat balok (cm)

y = jarak garis netral terhadap sisi yang tertekan (cm)

B_t = luas penampang beton yang tertarik (cm^2)

α = koefisien yang bergantung pada jenis batang t ulangan (1.2 untuk batang polos dan 1 untuk batang yang diprofilkan)

c. Penulangan Balok dan Poer

Penulangan balok dihitung dengan menggunakan perhitungan lentur “n”. Untuk perhitungan tulangan, poer dianalisis sebagai balok jika perbandingan antara tebal poer dan lebar poer $> 0,4$.

Metode perhitungan tulangan utama balok dan poer yaitu :

- Menentukan besarnya momen ultimit (M_u) yang bekerja pada balok dari hasil analisa SAP 2000.
- Menentukan perbandingan antar luas tulangan tarik dengan tulangan tekan (δ). Nilai δ diambil mulai dari 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,67 sampai 2,50
- Menghitung nilai C_a :
- Mencari nilai ϕ , ϕ' , dan ω dari tabel
- Menghitung luas tulangan tarik dan tekan

$$A = \omega \times b \times h$$

$$A_s' = \delta A$$

Dimana :

A = Luas tulangan tarik

A_s' = Luas tulangan tekan

→ Untuk balok dengan tinggi lebih dari 90 cm perlu dipasang tulangan samping sebesar minimum 10% dari tulangan tariknya (PBI '71 Pasal.9.3(5)).

- Kontrol terhadap retak

Metode perhitungan tulangan geser balok dan poer adalah sebagai berikut:

- Menentukan besarnya gaya lintang yang bekerja pada tumpuan.
- Menghitung tegangan beton ijin berdasarkan PBI '71 tabel 10.4.2 akibat geser oleh lentur dengan puntir, dengan tulangan geser :
 - Untuk pembebanan tetap

$$\tau'_{bm-t} = 1.35 \sqrt{\sigma'_{bk}}$$

- Untuk pembebanan sementara

$$\tau'_{bm-s} = 2.12 \sqrt{\sigma'_{bk}}$$

- Menghitung tegangan geser lentur beton akibat beban kerja di tengah-tengah tinggi penampang dengan rumus sebagai berikut

$$\tau_b = \frac{D}{b \times \frac{7}{8} h}$$

Dimana :

D = gaya lintang

Diperlukan tulangan geser jika

$$\tau_b < \tau'_{bm-t} \text{OK !}$$

$$\tau_b < \tau'_{bm-s} \text{OK !}$$

- Untuk perhitungan tulangan geser lentur-puntir ini, tegangan geser puntir dapat dianggap seolah-olah memperbesar tegangan geser lentur pada seluruh lebar balok, yang besarnya dapat diambil menurut rumus sesuai PBI '71 Pasal 11.8.6 berikut ini :

$$\tau''_b = \frac{Mt}{b \times Ft}$$

Dimana :

Mt = T = Momen Torsi akibat beban batas

Ft = luas penampang balok

Disyaratkan dalam PBI '71 Pasal 11.8.(4)

$$\tau_s \geq \tau_b + \tau''_b$$

Menghitung jarak tulangan sengkang

$$as = \frac{As \times \bar{\sigma}_a}{\tau_s \times b}$$

2.3.5 Struktur Bawah

Type material untuk tiang pancang meliputi: Kayu, Beton Precast, Beton Prestress, Pipa baja bulat maupun kotak dengan atau tanpa sepatu tiang, baja pita yang dibentuk pipa, Profil baja bentuk I atau H dengan atau

tanpa selimut beton, tiang ulir baja, dsb. Daya dukung tiang pada masing-masing kedalaman menggunakan perumusan yang ada misal dari Meyerhoff, Terzaghi, Luciano Decourt dan sebagainya sehingga dihasilkan grafik kurva daya dukung untuk beberapa ukuran dan type tiang.

Kontrol kekuatan internal bahan dilakukan dengan mengecek besarnya tegangan yang terjadi akibat beban luar harus lebih rendah dari tegangan ijin bahan, dan Momen yang terjadi harus lebih kecil dari kekuatan momen ultimate atau momen crack dari bahan. Tiang juga perlu dicek kekuatannya pada saat berdiri sendiri, khususnya terhadap frekuensi gelombang. Frekuensi tiang harus lebih besar dari frekuensi gelombang supaya tiang tidak bergoyang dan patah.

a. Daya Dukung Tiang

Daya dukung tiang pondasi dapat dihitung dengan rumus Luciano Decourt

$$Ql = Qp + Qs$$

$$Qp = qp \times Ap = \alpha(Np \times K) \times Ap$$

$$Qs = qs \times As = \beta \left(\frac{Ns}{3} + 1 \right) \times As$$

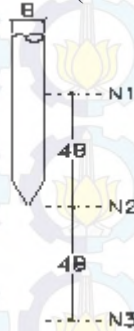
Dimana :

- QL = Daya dukung tanah maksimum pada pondasi
- QP = Resistance ultime di dasar pondasi
- QS = Resistance ultime akibat lekatan lateral
- qp = Tegangan diujung tiang
- A = Luas penampang tiang dasar
- B = Diameter pondasi
- qs = Tegangan akibat lekatan lateral
- Ns = Harga rata – rata SPT sepanjang tiang yang tertanam
- As = Luas selimut tiang

$\overline{N_p}$ = Harga rata – rata SPT di sekitar 4B diatas hingga 4B dibawah dasar tiang pondasi

Catatan : Apabila tanah dalam kondisi terendam atau di bawah muka air tanah, maka harga N_p tersebut harus dikoreksi sebagai :

$$N' = 15 + 0.5(N-15)$$



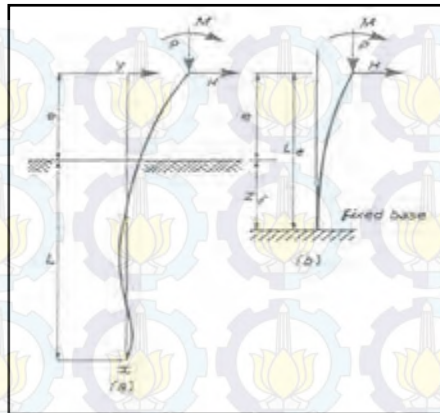
Gambar 2.4 Letak dari nilai-nilai N dalam perhitungan N_p

K = Koefisien karakteristik tanah yang mana :

- untuk lempung $\rightarrow K = 12 \text{ t/m}^2 = 117.7 \text{ kPa}$
- untuk lanau berlempung $\rightarrow K = 20 \text{ t/m}^2 = 96 \text{ kPa}$
- untuk lanau berpasir $\rightarrow K = 25 \text{ t/m}^2 = 245 \text{ kPa}$
- untuk pasir $\rightarrow K = 40 \text{ t/m}^2 = 392 \text{ kPa}$

Dengan menyamakan daya dukung tiang total dengan gaya maksimum yang bekerja pada satu tiang, maka akan didapat panjang tiang yang harus dipancang.

b. Titik Jepit Tiang (*point of fixity*)



Gambar 2.5 Posisi Titik Jepit Tiang Pancang
Sumber : Daya Dalam Dukung Pondasi

Posisi titik jepit tiang (Gambar 2.5) dari permukaan tanah (Z_f) untuk *normally consolidated clay* dan *granular soil* adalah $1.8 T$, di mana T adalah faktor kekakuan yang dihitung sebagai berikut :

$$T = \sqrt[3]{EI / n_h} \text{ (dalam satuan panjang)}$$

dimana :

n_h = untuk cohesionless soil diperoleh dari Terzaghi; sedangkan untuk normally consolidated clays = 350 s/d 700 KN/m^3 dan soft organic silts = 150 KN/m^3 .

E = modulus elastisitas Young yang tergantung dari bahan tiang pancang

I = momen inersia dari penampang tiang pancang

c. Defleksi Maksimum

Defleksi keseluruhan sisi bawah struktur atas dari hasil analisis struktur dengan defleksi bagian atas tiang pancang besarnya disyaratkan maksimum 4

mm. Untuk mendapatkan besarnya defleksi horizontal (Y) dari tiang vertikal (untuk fixed-headed pile) dapat menggunakan rumus :

$$Y = \frac{H(e + Zf)^3}{12EI}$$

Dimana :

H = Lateral Load

e = jarak lateral load dengan muka tanah

Zf = posisi titik jepit tanah terhadap sebuah tiang pondasi (lihat Gambar 2.5)

d. Kontrol Kekuatan Bahan

Apabila digunakan tiang pancang dari beton pratekan, maka menurut standar perhitungan tiang pancang dari WKA, kontrol dari kekuatan bahan adalah sebagai berikut :

- Kontrol Kekuatan Terhadap Gaya Aksial
Tegangan tekan yang terjadi akibat beban kerja harus lebih kecil dari kapasitas tekan yang diijinkan sebagai berikut :

$$f = \frac{P}{A} \leq f_{ijin}$$

dimana :

f = tegangan yang terjadi akibat beban baik itu aksial maupun momen (kg/cm^2)

f_{ijin} = tegangan ijin lentur dari material beton bertulang

P = gaya tekan kerja yang terjadi (kg)

A = luas penampang tiang (cm^2)

Adapun tegangan ijin dari penampang tiang pancang beton pratekan adalah sebagai berikut:

$$f_{ijin} = f_c - 0.27 f_{pe}$$

dimana :

f_c = tegangan ijin lentur beton (kg/cm^2)

f_{pe} = tegangan pratekan efektif (kg/cm^2)

- Kontrol Kekuatan Terhadap Gaya Horisontal
Momen yang terjadi pada titik jepit tiang akibat gaya horisontal harus lebih kecil dari momen retak, M_{cr} tiang sesuai dengan spesifikasi pabrikan yang ada. Adapun momen yang terjadi akibat gaya horisontal dengan kondisi *fixed headed pile* adalah sebagai berikut :

$$M = \frac{H \cdot (e + Z_f)}{2}$$

Di mana :

M = Momen yang terjadi

E = posisi gaya horisontal dari permukaan tanah

Z_f = posisi titik jepit tiang dari permukaan tanah

H = Gaya horisontal yang terjadi

e. Perhitungan Kalendering

Perhitungan kalendering pada saat pemancangan tiang pancang berguna untuk mengetahui daya dukung dari tiang yang dipancang, dalam kata lain guna mengetahui kapan pemancangan dihentikan atau apakah kedalaman pemancangan sudah memenuhi. Final set adalah nilai penetrasi tiang pancang tiap pukulan yang bisa diperoleh dari hasil kalendering. Final set digunakan untuk menghitung daya dukung tiang pancang dengan menggunakan HILLEY FORMULA yaitu :

$$Q_u = \frac{\alpha \cdot W \cdot H}{S + 0.5 C} \times \frac{W + n^2 \cdot W_p}{W + W_p}$$

di mana :

Q_u = Daya dukung tiang (ton)

α = Efisiensi *hammer* yaitu :

= 2.5 untuk *hydraulic hammer*

= 1.0 untuk *diesel hammer* Kobelco $\rightarrow \alpha = 0.8$

= 0.75 untuk *drop hammer*

W = Berat *hammer* (K25 = 2.5 ton; K35 = 3.5 ton, dsb.)

W_p = Berat tiang pancang (ton)

H = Tinggi jatuh *hammer* (1.9 m s/d 2 m untuk kondisi normal). Namun khusus untuk *diesel hammer*, nilai H dikalikan 2 (= 2H)

n = Koefisien restitusi, dimana untuk :

tiang kayu atau beton = 0.25

tiang beton tanpa *cap* = 0.40

tiang baja tanpa *cushion* = 0.55

S = final set atau penetrasi tiang pada pukulan terakhir (cm atau m/blow).

Pengamatan biasanya dilakukan rata-rata di 3 set terakhir dengan 10 pukulan setiap setnya.

C = Total kompresi sementara (mm)

= $C_1 + C_2 + C_3$

C_1 = Kompresi sementara dari *cushion* (*pile head&cap*) yang mana menurut BSP adalah :

- *Hard cushion* = 3 mm

- *Hard cushion + packing*

- *soft cushion* = 5 mm

- *soft cushion + packing* = 7 mm

C_2 = Kompresi sementara dari tiang, yang dapat dihitung dengan rumusan

$$C_2 = \frac{Q_u \cdot L}{A_p \cdot E_{pile}}$$

atau untuk

Tiang pancang beton, 400 od = 9 mm s/d 12 mm; 500 od = 10 mm s/d 14 mm

Tiang pancang baja, 500 od = 7 mm s/d 11 mm; 600 od = 8 mm s/d 12 mm

C_3 = Kompresi sementara dari tanah, di mana nilai nominal = 2.5 mm

- Tanah keras (SPT ≥ 50): 0 – 1 mm
- Tanah sedang (SPT 20 – 30): 2 – 3 mm
- Tanah lunak (SPT 10 – 20): 4 – 5 mm

Menurut pengalaman yang sudah ada, harga C dari *diesel hammer* K35 adalah :

- Bila $S > 1$ cm, $C = 1$ cm
- Bila $S = 0.6 - 1$ cm, $C = 1.2 - 1.8$ cm
- Bila $S = 0.2 - 0.5$ cm, $C = 1.6 - 2.2$ cm

Adapun pemilihan tipe *hammer* harus didasarkan pada penetrasi per set selama pemancangan yaitu tidak kurang dari 5 mm (5 blows / 25 mm) dan *final set* kira-kira 2 mm (10 – 12 blows / 25 mm). Apabila selama 3 menit mencapai 25 blows per 25 mm, maka *hammer* harus segera dihentikan.

2.4 Pengerukan Kolam Dermaga

Pekerjaan pengerukan adalah pekerjaan mengubah bentuk dasar perairan untuk mencapai kedalaman dan lebar yang dikehendaki atau untuk mengambil material dasar laut/perairan yang dipergunakan untuk keperluan tertentu.

Pengerukan awal (Capital dredging) adalah pengerukan yang pertama kali dilaksanakan dalam rangka pendalaman kolam

pelabuhan atau alur pelayaran. Pengerukan pemeliharaan (Maintenance dredging) adalah pengerukan yang dilaksanakan secara rutin berkala dalam rangka memelihara kedalaman kolam pelabuhan atau alur pelayaran, atau pekerjaan pengerukan lainnya.

a. Perhitungan Volume Pengerukan

- Kegiatan pemeruman yaitu pemeruman yang meliputi tiga tahap yakni pemeruman awal (predredge sounding) untuk mengetahui kondisi awal perairan yang akan dikeruk dan membuat desain atau perencanaan pekerjaan pengerukan dan untuk memperhitungkan volume keruk, pemeruman pelaksanaan pekerjaan pengerukan (progress sounding) untuk memantau pelaksanaan pekerjaan pengerukan yang pemerumannya dilaksanakan berkala dan pemeruman akhir (final sounding) untuk memperhitungkan volume keruk yang telah dikerjakan.
- Pelaksana pekerjaan pengerukan wajib mengirimkan hasil pemeruman final pada DITJEN HUBLA untuk diteruskan/disiarkan pada Berita Maritim (Notice to Marine)
- Sebagai dasar pembuatan desain alur pelayaran/kolam pelabuhan dan atau pekerjaan pengerukan lainnya, perhitungan volume keruk harus menggunakan hasil pemeruman awal yang dilakukan dalam kurun waktu maksimum 2 (dua) bulan setelah pelaksanaan pemeruman.
- Pemeruman (Sounding) menggunakan Echo Sounder dengan frekuensi antara 200 KHz sampai 210 KHz.
- Perhitungan volume keruk didasarkan pada luas penampang dikalikan panjang pias ditambah volume pengendapan selama pekerjaan berlangsung dan atau volume toleransi vertikal.
- Besaran pengendapan atau tingkat pengendapan dan toleransi vertikal sebagaimana ditentukan oleh Direktorat

Jenderal Perhubungan Laut untuk masing-masing alur pelayaran dan atau kolam pelabuhan

b. Jenis Material

Jenis material diketahui berdasarkan hasil dari data tanah. Setelah data jenis material tanahnya diketahui, maka akan diketahui penanganan seperti apa yang akan dilakukan untuk penggunaan dan pemilihan alat dan metode pelaksanaan pengerukannya.

c. Kedalaman Perairan

Pendalaman alur pelayaran atau kolam pelabuhan ditentukan berdasarkan permukaan air, draft rencana angkutan perairan, pergerakan vertikal angkutan perairan, ruang bebas lunas kapal, pasang surut dan kemudahan atau kelancaran masuknya angkutan perairan atau lebar alur dalam 1 lajur atau 2 lajur.

d. Tempat Pembuangan Material

- Tempat pembuangan material keruk yang lokasinya di perairan, idealnya dibuang pada jarak 12 mil dari daratan dan atau pada kedalaman lebih dari 20 m atau lokasi lainnya setelah mendapat rekomendasi atau izin dari Direktorat Jenderal perhubungan Laut, melalui ADPEL atau KAKANPEL setempat.
- Tempat pembuangan material keruk di darat harus mendapat persetujuan dari PEMDA setempat yang berkaitan dengan penguasaan lahan yang sesuai RUTR.

e. Metode Pengerukan



Gambar 2.6 Metode Pengerukan

- Metode pekerjaan pengerukan dapat dilaksanakan dengan pengerukan sistem hidraulik (Kapal Keruk Hopper dan Kapal Keruk Cutter), pengerukan dengan cakram, pengerukan dengan timba dan pengerukan dengan sistem lainnya.
- Untuk material keruk yang keras, semisal karang, pekerjaan pengerukan dapat dilaksanakan dengan cara penggalian material karang dengan metode mekanikal kemudian pemindahan material keruk dengan sistem pengerukan yang normal, penggalian material karang dengan metode peledakan karang kemudian pemindahan material keruk dengan sistem pengerukan yang normal dan sistem lainnya seperti penggalian material karang dengan metode pemecahan karang melalui gelombang pendek atau microwave, pemotongan karang dengan menggunakan peralatan tekanan tinggi atau sistem lainnya. Penggalian material keruk/karang dengan metode peledakan ini harus mendapat rekomendasi dari institusi yang berwenang.

- Kegiatan pengerukan yang hasil material keruknya tidak dimanfaatkan, adalah kegiatan pekerjaan pengerukan untuk pendalaman alur pelayaran dan kolam pelabuhan atau untuk keperluan lainnya, antara lain adalah pembangunan pelabuhan/dermaga, penahan gelombang, saluran air masuk untuk sistem pendinginan (Water intake), pendalaman galangan kapal dan lain-lain.
- Kegiatan pengerukan yang hasil material keruknya dimanfaatkan adalah kegiatan pekerjaan pengerukan untuk pengurugan atau reklamasi dan pekerjaan pengerukan untuk penambangan.

f. Pemilihan Jenis Alat Keruk

Masing-masing jenis alat keruk memiliki kinerja berbeda untuk berbagai keadaan cuaca dan material tanah dasarnya. Secara umum, alat keruk dengan penggerak sendiri memiliki kelaikan laut yang baik dan dapat digunakan di perairan laut terbuka. Sedangkan alat keruk tanpa penggerak sendiri terutama jenis dengan jangkar tiang mudah dipengaruhi oleh angin dan gelombang.

BAB III

ANALISIS DATA

3.1 Umum

Sebelum dilakukan perhitungan perencanaan dermaga, terlebih dahulu diperlukan adanya analisis data. Data yang dianalisis adalah data sekunder yang meliputi data hidrooseanografi, data tanah, data kapal dan data fasilitas pelabuhan.

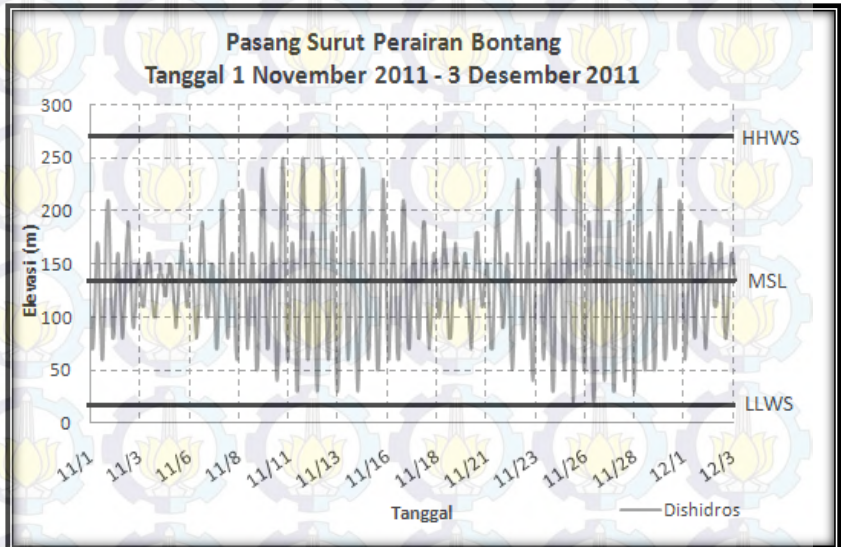
3.2 Data Hidrooseanografi

3.2.1 Data Pasang Surut

Pasang surut pada prinsipnya terjadi karena pengaruh posisi bumi terhadap bulan dan matahari. Pada saat bulan yang mengitari bumi pada garis orbitnya berada pada jarak yang paling dekat dengan bumi akan menimbulkan terjadinya air pasang (*High Water Spring = HWS*), jika yang terjadi sebaliknya, yaitu bulan pada posisi terjauh dari bumi akan menimbulkan air surut (*Low Water Spring = LWS*). Pada saat posisi bulan, bumi, dan matahari pada garis lurus akan terjadi rangkaian pasang surut yang perbedaannya besar karena gaya tarik bulan dan matahari terhadap bumi saling memperkuat disebut fase *spring tide*, sedangkan pada saat posisi bulan dan matahari membentuk sudut siku-siku terhadap bumi maka gaya tarik bulan dan bumi saling mengurangi sehingga tinggi pasang surut kecil dibanding hari-hari lainnya disebut fase *neap tide*.

Data pasang surut dipergunakan untuk melengkapi kebutuhan penggambaran peta bathymetri (peta kontur kedalaman laut), mengetahui posisi muka air laut absolut terendah, dan pola pasang surutnya. Selanjutnya posisi air surut terendah berdasar pola pasang surut setempat digunakan sebagai acuan untuk penetapan elevasi kontur tanah dan elevasi seluruh bangunan, sehingga kondisi

kedalaman perairan dan elevasi posisi kering dari struktur dan wilayah darat dapat ditentukan.



Gambar 3.1 Grafik Pasang Surut
Sumber : Dishidros 2011

Hasil Analisa Data Pasang Surut

Pasang surut dianalisis pada kondisi *spring tide* dan *neap tide*. Dari hasil pengamatan dari data yang diperoleh, dapat dilihat pada **Gambar 3.1**, didapatkan perilaku pasang surut pada perairan Bontang adalah:

- Beda pasang surut sebesar 2,50 m diatas mLWS
- Elevasi HWS (High Water Spring) pada +2,50 mLWS
- Elevasi MSL (Mean Sea Level) pada +1,25 mLWS
- Elevasi LWS (Low Water Spring) pada ± 0.00 mLWS

3.2.2 Data Arus

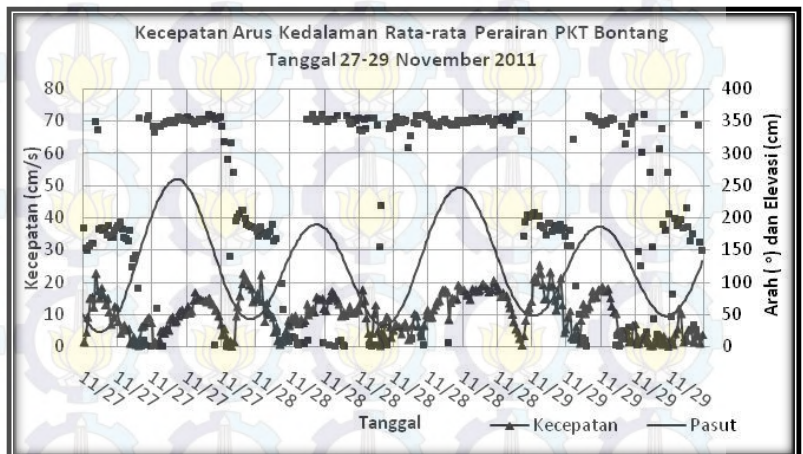
Arus yang terjadi di sepanjang pantai biasanya merupakan arus akibat perbedaan muka air pasang surut

antara satu lokasi dengan lokasi lain, sehingga arus dipengaruhi pola pasang surut. Perubahan taraf muka air akibat pasang surut di tempat berbeda menyebabkan terjadinya pergerakan horisontal air pada umumnya disebut arus pasang surut.

Data arus secara umum digunakan untuk:

- Menghindari pengaruh tekanan arus berarah tegak lurus kapal agar kapal dapat lebih mudah bermanuver.
- Perencanaan beban horizontal pada badan kapal.
- Mengetahui dan mengevaluasi kondisi stabilitas garis pantai.

Dalam tugas akhir ini data arus hanya digunakan untuk kebutuhan perencanaan gaya horisontal.



Gambar 3.2 Grafik kecepatan dan arah arus

Sumber: Dishidros 2011

Hasil Analisa Data Arus

- Arus yang dipergunakan adalah arus pada kondisi *spring tide*.
- Arus yang didapat umumnya menunjukkan arah dominan utara dengan kecepatan arus pasang surut

maksimum 0.25 m/dt, dimana arus tegak lurus terbesar kapal (cross current) maksimum kecepatan 3 knot (1,5 m/dt). Sehingga perairan tersebut aman untuk digunakan untuk dibangun dermaga.

3.3 Peta Bathymetri

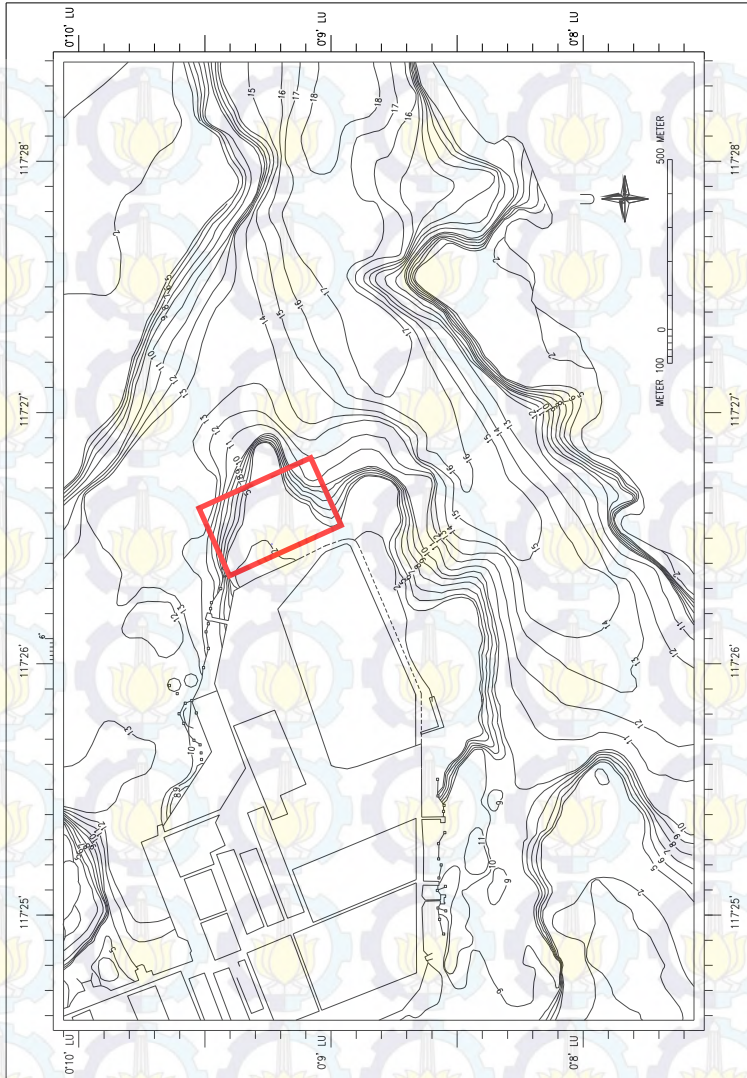
Peta Bathymetri menunjukkan kontur kedalaman laut yang diukur dari posisi 0,00 LWS. Peta Bathymetri digunakan untuk:

Mengetahui kedalaman tanah dasar laut untuk kemudian dapat diketahui kedalaman yang diperlukan untuk perencanaan dermaga

- Merencanakan struktur dermaga secara tepat, baik itu menggunakan jetty ataupun hanya menempel dengan daratan sehingga perencanaan sesuai dengan kondisi eksisting
- Mengetahui daerah-daerah yang berbahaya untuk berlabuhnya kapal sehingga dapat diantisipasi dengan pemberian tanda
- Mengetahui total volume pengerukan yang dibutuhkan saat membuat kolam pelabuhan.

Hasil Analisa Data Bathymetri

- Pada perencanaan layout dermaga, dermaga yang direncanakan berada di dekat pantai, dan dari peta bathymetri didapatkan bahwa kondisi kedalaman perairan sekitar lokasi rencana rata-rata memiliki kedalaman 2,5 mLWS. Dikarenakan kedalamannya yang dangkal, maka diperlukan pengerukan untuk kolam dermaga. Peta bathymetri dapat dilihat pada **gambar 3.3.**



Gambar 3.3 Peta Bathymetri wilayah Bontang
Sumber: Masterplan PKT 2006

3.4 Data Tanah

Data penyelidikan tanah dibutuhkan untuk perencanaan struktur, terutama struktur bagian bawah. Pengambilan data tanah dilakukan dengan pengeboran menggunakan mesin bor dan pompa dengan tenaga diesel. Kedudukan titik bor dilakukan dengan alat theodolit.

Pengambilan data tanah meliputi pengambilan test penetrasi standar (SPT). Data SPT didapat melalui satu titik bor (**Gambar 3.4**) yaitu di *section 2 berthing dolphin project Kaltim 3* sampai kedalaman -30,5 m dari *riverbed*.

Tabel 3.1 Nilai SPT

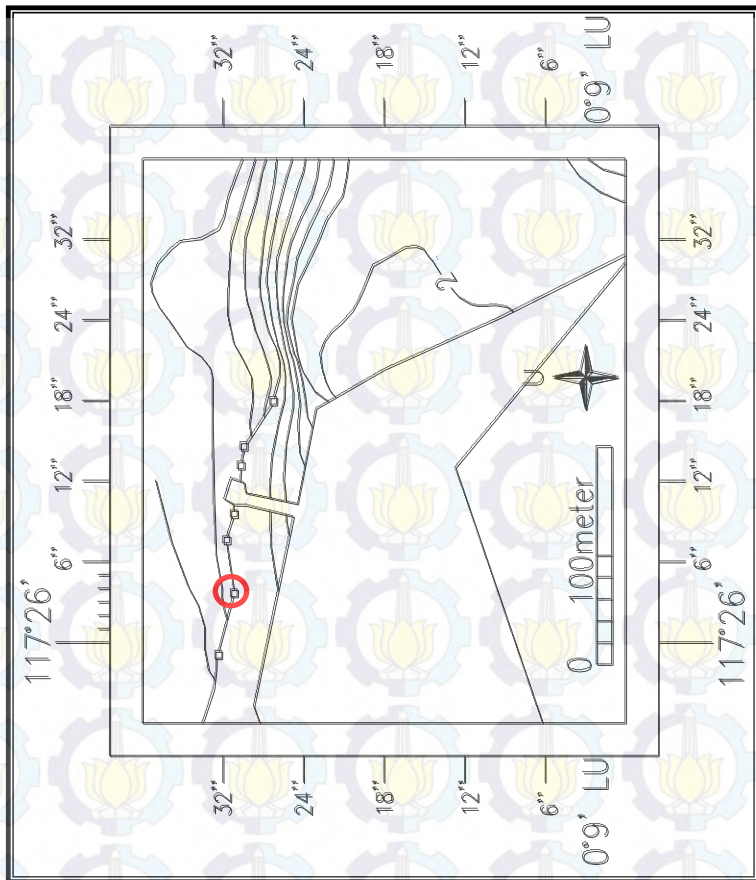
Kedalaman dari muka air (m)	Nilai SPT	Jenis Tanah
13	20	stiff clay
14,5	30	sand
17,5	25	very stiff clay

Sumber: Hasil Perhitungan

Untuk perencanaan struktur tiang pancang, analisa data tanah dibutuhkan untuk mendapatkan daya dukung ijin terhadap kedalaman tiang pancang.

Hasil Analisa Data Tanah

Kondisi tanah berdasarkan hasil pengeboran menunjukkan bahwa wilayah Bontang didominasi oleh lapisan lempung keras dengan nilai SPT 20 di kedalaman -13m ke bawah serta ketebalan lapisan lempung mencapai 1,5 m di bawah seabed, setelah itu terdapat lapisan tanah pasir dengan SPT 30 setebal 3 m, dan tanah lempung sangat keras dengan nilai SPT 25 setebal 13 m (sampai kedalaman 30,5 m).



Gambar 3.4 Lokasi Titik Bor
Sumber : Masterplan PKT 2006



BAB IV

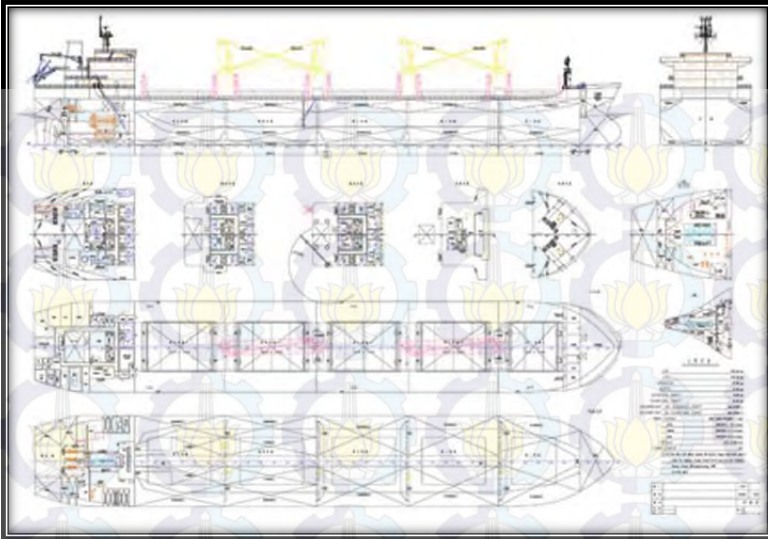
KRITERIA DESAIN

4.1 Peraturan yang Digunakan

1. *Technical Standard Port and Harbour Facilities in Japan* (2002). Digunakan untuk merencanakan boulder dan menghitung energi pada fender.
2. *Standard Design Criteria for Ports in Indonesia* (1984). Digunakan untuk menentukan kecepatan kapal saat merapat di dermaga.
3. Peraturan Beton Indonesia (1971). Digunakan dalam perencanaan tulangan dengan memakai Perhitungan Lentur Cara “n” (Ir. Wiratman W.)
4. SNI 03 - 1726 - 2002 - Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (1983). Digunakan dalam perhitungan gaya gempa dengan metode dinamis.
5. Konstruksi Beton Indonesia (1971). Digunakan dalam perencanaan tulangan yaitu untuk perhitungan momen akibat beban terpusat.

4.2 Spesifikasi Kapal Rencana

Kapal yang direncanakan untuk bertambat pada dermaga curah urea ini adalah *cargo vessel* 30000 DWT CCS (*Bulk Carrier*) dengan tipe SXC029. Adapun spesifikasi kapal tersebut dapat dilihat pada **Gambar 4.1**, **Gambar 4.2** serta **Tabel 4.1**



Gambar 4.1 Tampak atas *Cargo Vessel 30000 DWT CCS*
(*Bulk Carrier*)

Sumber : <http://www.bigstones.cn>



Gambar 4.2 Tampak depan *Cargo Vessel 30000 DWT CCS*
(*Bulk Carrier*)

Sumber: <http://www.bigstones.cn>

Tabel 4.1 Spesifikasi Kapal

LOA	178 m
Breadth	27,6 m
Depth	13,9 m
Max Draft	9,5 m
DWT	30000 ton
Displacement	40000 ton

Sumber : <http://www.bigstones.cn>

4.3 Spesifikasi Peralatan yang Digunakan

4.3.1 Conveyor belt

Fasilitas *Conveyor belt* digunakan untuk mengangkut urea dari darat menuju ke *shiploader*. *Conveyor belt* yang digunakan adalah tipe Itaguai-RJ K7014

**Gambar 4.3** Conveyor belt

Sumber : <http://www.miningandconstruction.sandvik.com>

Tabel 4.2 Spesifikasi Conveyor Belt

Material to be handled	urea
Nominal Capacity	10.000 t/h
Length	5800 m
Rail gauge	2 m
Weight	600 kgs

Sumber: <http://www.miningandconstruction.sandvik.com>

4.3.2 Shiploader

Fasilitas *shiploader* digunakan untuk loading urea dari *conveyor belt* ke kapal curah. *Shiploader* ini memiliki lengan teleskopik (dapat memanjang dan memendek) dan memiliki rel berbentuk *radial* (setengah lingkaran). *Shiploader* yang digunakan adalah type PL 400-2000/41,5+41

**Gambar 4.4** Radial Shiploader

Sumber : <http://www.miningandconstruction.sandvik.com>

Tabel 4.3 Spesifikasi Shiploader

Material to be handled	urea
Nominal Capacity	11.250 t/h
Outreach seside	41 m
Rail gauge	20 m
Weight	20 ton

Sumber: <http://www.miningandconstruction.sandvik.com>

4.4 Kualitas Material dan Bahan

4.4.1 Mutu Beton

Berdasarkan Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan, BMS 1992 bagian 6, Tabel 6.2 bangunan dermaga termasuk klasifikasi C (dimana keadaan permukaan bagian komponen dalam air dan terletak dalam lingkungan daerah pasang surut). Dimana beton harus punya kuat tekan karakteristik (f_c') tidak kurang dari 35 MPa ($f_c' \geq 35$ MPa). Maka dalam perencanaan dermaga untuk urea (curah kering) ini digunakan beton dengan $f_c' = 35$ Mpa untuk komponen struktural. Berikut ini data mutu beton berdasarkan PBI 1971:

$$\sigma'_{bk} = \text{Kekuatan beton karakteristik } 350 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'_b = \text{Tegangan tekan beton akibat lentur tanpa dan / atau dengan gaya normal tekan}$$

$$= 0,33\sigma'_{bk} \text{ (Tabel 10.4.2)}$$

$$= 0,33 \times 350$$

$$= 115,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_b = \text{Modulus tekan beton untuk pembebanan tetap}$$

$$= 6400\sqrt{\sigma'_{bk}}$$

$$= 6400\sqrt{350} = 1,2 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

4.4.2 Mutu Baja

Baja tulangan yang digunakan dalam perencanaan ini adalah baja tulangan U-32. Berikut data mutu baja berdasarkan PBI 1971:

$$\sigma_{au} = \text{Tegangan leleh karakteristik}$$

	= 3200 kg/cm ² (Tabel 3.7.1)
E_a	= 2,1 x 10 ⁶ kg/cm ²
σ_a	= Tegangan tarik/tekan baja yang diijinkan (Tabel 10.4.1)
	= 1850 kg/cm ²
σ'_{au}	= Tegangan tarik/tekan rencana (Tabel 10.4.3)
	= 2780 kg/cm ²
Diameter tulangan	= 16 mm (untuk pelat)
	= 32 mm (untuk balok)

4.5 Kombinasi Pembebanan

Perencanaan struktur dilakukan berdasarkan beban –beban yang optimal yang terjadi pada struktur tersebut. Untuk mendapatkan optimasi dari beban yang terjadi maka di buat bebarapa alternatif kombinasi dalam analisa struktur. Berikut ini kombinasi pembebanan dermaga.

1. Struktur catwalk
 - 1.2 DL + 1.6 LL
 - 1.2 DL + 1.0 LL + 1.6 W
 - 0.9 D + 1.6 W
2. Pivot Structure
 - DL + LL
 - DL + 0.5 LL + Fx + 0.3 Fy
 - DL + 0.5 LL + 0.3 Fx + Fy
3. Loading Platform
 - DL + LL
 - DL + 0.5 LL + Fx + 0.3 Fy
 - DL + 0.5 LL + 0.3 Fx + Fy
4. Breasting dolphin
 - DL + LL
 - DL + LL + F
 - DL + LL + H
 - DL + 0.5 LL + Fx + 0.3 Fy
 - DL + 0.5 LL + 0.3 Fx + Fy

5. Mooring Dolphin

DL + LL

DL + LL + Bh

DL + LL + Bv

DL + 0.5 LL + Fx + 0.3 Fy

DL + 0.5 LL + 0.3 Fx + Fy

6. Trestle

DL + LL

DL + 0.5 LL + Fx + 0.3 Fy

DL + 0.5 LL + 0.3 Fx + Fy

Dimana :

DL = Dead Load

LL = Live Load

Bh = Beban Boulder horisontal

Bv = Beban Boulder vertikal

F = Beban Fender

H = beban hanging kapal

W = Beban Angin

Fx = Beban Gempa Arah x

Fy = Beban Gempa Arah y

sumber: Technical Standard Port and Harbour Facilities in Japan (2002)

4.6 Perhitungan Fender

4.6.1 Perencanaan Fender

Fender merupakan sistem konstruksi yang dipasang di depan konstruksi tambahan. Berfungsi sebagai penahan beban tumbukan kapal pada waktu merapat serta memindahkan beban akibat tumbukan menjadi gaya reaksi yang mampu diterima konstruksi dan kapal secara aman.

Perencanaan fender sebaiknya dilakukan terlebih dahulu sebelum konstruksi dermaga dihitung. Ukuran fender dipilih berdasar ukuran kapal yang bertambat dan energi tumbukan maksimum. Setelah kriteria fender yang akan dipakai dapat ditetapkan, selanjutnya dilakukan

finalisasi desain dari konstruksi bagian atas dari tambatan/dermaga tersebut.

4.6.2 Perhitungan Energi Fender

Keperluan fender bagi suatu dermaga sangat bergantung dari ukuran dan kecepatan kapal yang merapat. Pada saat kapal menabrak konstruksi tambatan, ada energi kinetik tumbukan yang harus diabsorpsi dan ditransfer menjadi gaya horisontal yang harus mampu ditahan oleh bangunan dermaga. Dalam menghitung fender terlebih dahulu dihitung energi yang bekerja pada fender.

Dimana :

Koefisien massa hidrodinamis (C_H)

$$C_H = 1 + \frac{\pi D}{2C_b B} ; C_b = \frac{W_s}{L_{pp} B D \rho_a}$$

Dimana :

C_b = koefisien blok

W_s = Displacement Tonage (ton) = 40.000 ton

L_{pp} = 170,8 m

B = lebar kapal = 27,6 m

D = draft kapal = 9,5 m

ρ_a = 1,025 t/m³

$$C_b = \frac{W_s}{L_{pp} B D \rho_a} = \frac{40000_s}{170,8 \times 27,6 \times 9,5 \times 1,025} = 0,87$$

$$\text{Maka, } C_H = 1 + \frac{\pi \times 9,6}{2 \times 0,87 \times 27,6} = 1,63$$

Koefisien eksentrisitas (C_E)

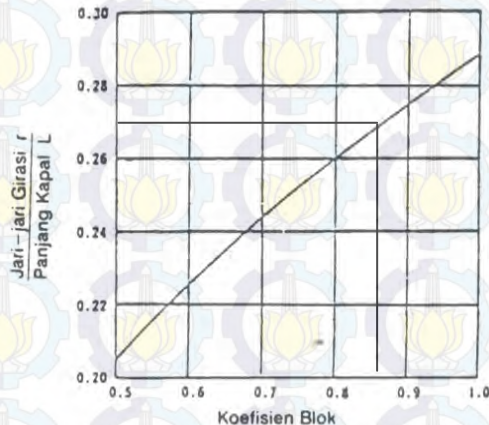
Dengan : l = jarak terpendek yang diukur sejajar dengan dermaga dari titik tumbuk kapal ke centre of gravity (c.g) kapal.

Dermaga : $l = 1/4 \text{ Loa}$

Dolphin : $l = 1/6 \text{ Loa}$

r = jari-jari girasi, jari-jari perputaran kapal dengan pusat c.g sampai titik tumbuk.

Harga l dan r dapat diperoleh dari grafik hubungan antara C_b dengan r/L_{oa} . Lihat **Gambar 4.5**



Gambar 4.5 -Jari-jari Girasi sebagai fungsi dari koefisien blok
Sumber: Technical Standard Port and Harbour Facilities in Japan, 2002

Dengan $C_b = 0,87$ Diperoleh nilai $r/L_{oa} = 0,27$,
 sehingga nilai $r = 178 \times 0,27 = 48,06$ m dan
 $l = 1/6 LOA = 1/6 \times 178 = 29,66$ m

$$C_E = \frac{1}{1+(48,06/29,66)^2} = 0,28$$

Koefisien bantalan (C_C)

$$C_C = 1$$

Koefisien kehalusan (C_S)

$$C_S = 1$$

Displacement Tonnage

$$W_s = 40000 \text{ ton}$$

Kecepatan kapal saat merapat

$$V = 0,1 \text{ m/s}$$

→ Jadi energi pada fender

$$Ef = C_H . C_E . C_C . C_S . \left(\frac{1}{2} . W . V^2 \right) / g [\text{ton} - \text{m}]$$

$$Ef = 1,63 \times 0,48 \times 1 \times 1 \times (0,5 \times 40000 \times 0,1^2) / 9,8$$

$$Ef = 15,98 \text{ ton.m} \sim 16 \text{ ton.m} = 160 \text{ kN.m}$$

4.6.3 Pemilihan Tipe Fender

Setelah perhitungan energi tumbukan yang timbul dapat ditentukan, selanjutnya dilakukan pemilihan type fender. Beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam pemilihan sistem fender :

1. Fender harus memiliki kemampuan penyerapan energi kinetis lebih besar dibanding energi kinetis yang terjadi akibat tumbukan kapal ke fender.
2. Gaya reaksi yang timbul sebagai sisa energi kinetis yang tidak terserap oleh fender dicari yang menghasilkan angka terkecil.
3. Tekanan yang timbul dari sistem fender tidak boleh melebihi kemampuan menahan tekanan dari lambung kapal (=badan kapal).
4. Harus diperhatikan juga harga dan biaya konstruksi serta biaya perawatan bagi fender maupun tambatannya.

Setelah perhitungan energi tumbukan yang timbul dapat ditentukan, selanjutnya dilakukan pemilihan tipe fender yang spesifikasinya dapat dilihat pada **Tabel 4.5** dan **Tabel 4.6**.

Untuk Ef yang ditimbulkan akibat tumbukan *bulk cargo ship* 30000 DWT sebesar 16 tm. Pada fender, Ef akhir haruslah dikali dengan *safety factor*. Berdasarkan PIANC 2002, nilai *safety factor* dapat dilihat pada **Tabel 4.4**.

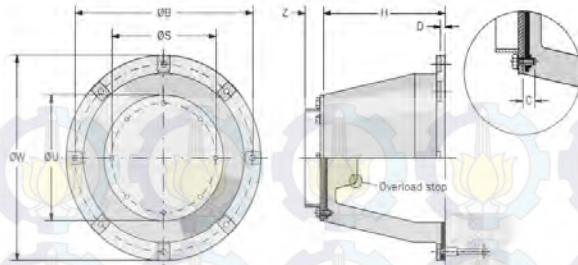
Tabel 4.4 Nilai *Safety Factor* PIANC 2002

Type of ship	Factor abnormal impact	General Command
Small ship	1.5-2.0	Depends on operation
General cargo	1.75-2.0	Depends on ship size
Ro/ro	2.0-3.0	Stern berthing
Ferries	2.0-3.0	Depends on berth exposure and operation
Tanker and bulk	1.3-2.0	Smallest ship
	1.3-1.5	Largest ship
Cotainer ship	2.0	Smallest ship
	1.5	Largest ship

Sumber : PIANC 2002

$E_f \text{ akhir} = 1,4 \times E_f = 1,4 \times 16 = 22,4 \text{ ton.m} = 224 \text{ kN.m}$
 Pemilihan fender didasarkan besar energi yang dapat diabsorbsi oleh fender tersebut (E_r) dan harus lebih besar dari energi tumbukan kapal (E_f). Pada perencanaan kali ini tipe fender yang digunakan adalah *Cone Fender* (SCN) (lihat **Gambar 4.6**). Dari katalog fender tipe *Super SCN* dipilih fender tipe SCN 900 E 0.9 dengan nilai $E_r = 24,8 \text{ tm} > 22,4 \text{ tm}$ dengan reaksi (R_r) = 52,7 ton, selain itu energi reaksi kapal juga harus diusahakan dapat diserap fender ketika kondisi fender berdeformasi. Berdasarkan perhitungan E_f diatas, data-data fender tipe *Super SCN* 900 E0.9 sebagai berikut :

Energi fender = 248 kN.m
 Berat fender = 841 kg
 Berat frontal pad = $1 \times 1 \times 841 = 841 \text{ kg}$
 Defleksi = 72 %
 Diameter = 1,440 m
 Tipe baut = M36-300mm (8buah)



Gambar 4.6 – Bentuk Rubber Fender

Sumber: <http://www.trelleborg.com>

Tabel 4.5 Kekuatan Rubber Fender (dalam kN, kNm)

		E0.9	E1.0	E1.1	E1.2	E1.3	E1.4	E1.5	E1.6	E1.7	E1.8	E1.9	E2.0
SCN 300	E _{0.9}	7.7	8.6	8.9	9.2	9.5	9.8	10.1	10.4	10.6	10.9	11.2	11.5
	R _{0.9}	59	65	67	68	70	72	74	75	77	79	80	82
SCN 350	E _{0.9}	12.5	13.9	14.4	14.8	15.3	15.7	16.2	16.7	17.1	17.6	18	18.5
	R _{0.9}	80	89	91	93	96	98	100	102	104	107	109	111
SCN 400	E _{0.9}	18.6	20.7	21.4	22.1	22.8	23.5	24.2	24.8	25.5	26.2	26.9	27.6
	R _{0.9}	104	116	119	122	125	128	131	133	136	139	142	145
SCN 500	E _{0.9}	36.5	40.5	41.9	43.2	44.6	45.9	47.3	48.6	50	51.3	52.7	54
	R _{0.9}	164	182	187	191	196	200	205	209	214	218	223	227
SCN 550	E _{0.9}	49	54	56	58	59	61	63	65	67	68	70	72
	R _{0.9}	198	220	226	231	237	242	248	253	259	264	270	275
SCN 600	E _{0.9}	63	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90
	R _{0.9}	225	250	257	263	270	276	283	289	296	302	309	315
SCN 700	E _{0.9}	117	130	134	137	141	144	148	151	155	158	162	165
	R _{0.9}	320	355	365	374	384	393	403	412	422	431	441	450
SCN 800	E _{0.9}	171	190	196	201	207	212	218	223	229	234	240	245
	R _{0.9}	419	465	478	490	503	515	528	540	553	565	578	590
SCN 900	E _{0.9}	248	275	282	289	296	303	310	317	324	331	338	345
	R _{0.9}	527	585	601	617	633	649	665	681	697	713	729	745

Sumber: <http://www.trelleborg.com>

Tabel 4.6 Dimensi Rubber Fender (dalam mm)

	H	ØW	V	ØU	C	D	ØB	ØS	Anchors/ Head bolts	Z _{min}	Weight
SCN 300	300	500	–	295	27–37	20–25	440	255	4 × M20	45	40
SCN 350	350	570	–	330	27–37	20–25	510	275	4 × M20	52	50
SCN 400	400	650	–	390	30–40	20–28	585	340	4 × M24	60	76
SCN 500	500	800	–	490	32–42	30–38	730	425	4 × M24	75	160
SCN 550	550	880	–	540	32–42	30–38	790	470	4 × M24	82	210
SCN 600	600	960	–	590	40–52	35–42	875	515	4 × M30	90	270
SCN 700	700	1120	–	685	40–52	35–42	1020	600	4 × M30	105	411
SCN 800	800	1280	–	785	40–52	35–42	1165	685	6 × M30	120	606
SCN 900	900	1440	–	885	40–52	35–42	1313	770	6 × M30	135	841

Sumber: <http://www.trelleborg.com>

Panjang angker fender:

Berat fender dan frontal pad = 1682 kg

Jumlah baut = 8 buah

Digunakan beton mutu K_{350} dengan $\sigma'_{bk} = 350 \text{ kg/cm}^2$.

Dari PBI '71 Tabel 10.4.2 didapatkan:

Teg. Geser ijin (τ_b) = $0,54 \sqrt{\sigma'_{bk}} = 10,102 \text{ kg/cm}^2$.

Kebutuhan panjang pengangkuran pada fender :

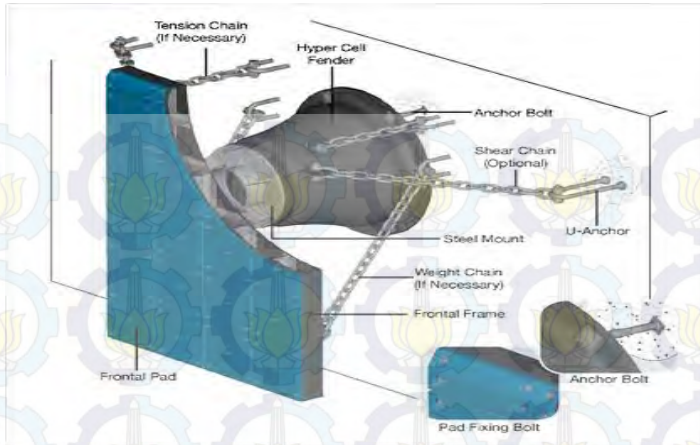
$$L = \frac{0,85T}{n \times \pi d \times \sigma'_b} = \frac{0,85 \times 1682}{8 \times \pi(3,6) \times 10,102} = 1,56 \text{ cm}$$

Pada PBI 71 Pasal 8.6.1 disyaratkan bahwa panjang pengangkuran tidak boleh kurang dari 30 cm. Maka panjang angker fender yang dipakai dalam perencanaan ini adalah 30 cm.

4.6.4 Aksesoris Fender

Dalam pemasangan fender SCN, dibutuhkan beberapa aksesoris pelengkap (**Gambar 4.7**) yang sangat penting untuk menahan gaya-gaya yang terjadi, aksesoris tersebut adalah sebagai berikut:

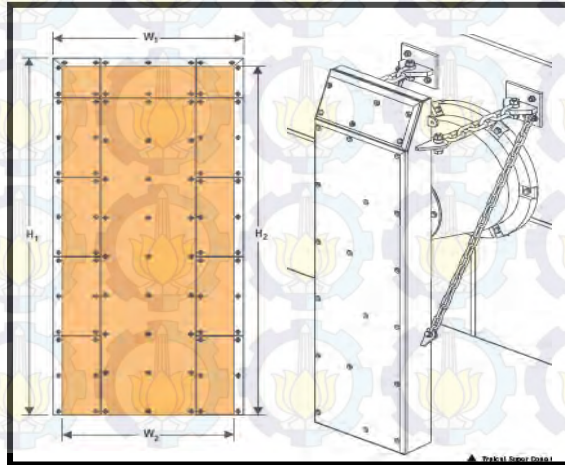
- **Anchor Bolt** – Untuk mengaitkan fender ke dermaga
- **Tension Chain** – Untuk menahan fender bagian bawah terhadap gaya kapal
- **Shear Chain** – Untuk menahan defleksi geser dari fender
- **Weight Chain** – Untuk menyokong frontal frame
- **Frontal Frame** – Untuk melindungi kapal dengan mengurangi tekanan saat terjadi kontak dengan fender
- **Frontal Pad** – Untuk mengurangi gesekan kapal saat terjadi kontak dengan fender
- **"U" Anchor** – Untuk mengaitkan rantai ke dermaga



Gambar 4.7 Aksesori Fender
 Sumber: <http://www.trelleborg.com>

4.6.5 Kontrol Kontak Kapal

Pada fender SCN perlu dipasang panel/frontal frame (Gambar 4.8) untuk mengamankan badan kapal ketika menumbuk fender karena luas bidang sentuh fender SCN relatif kecil sehingga dikhawatirkan dapat merobek badan kapal.



Gambar 4.8 – Frontal Frame
 Sumber : <http://www.trelleborg.com>

Kontrol kontak kapal dapat dihitung dengan rumus:

$$P = \frac{\sum R}{W \cdot H} < P_p$$

Dimana:

P = tekanan kontak lambung kapal

$\sum R$ = reaksi maksimum dari fender

W = lebar panel

H = tinggi panel

P_p = tekanan kontak ijin (**Tabel 4.7**)

Analisis perhitungan:

Direncanakan

W = 1.5 m;

H = 3 m,

P_p didapatkan dari **Tabel 4.7** maka

$$P = \frac{\sum R}{W \cdot H} < P_p$$

$$P = \frac{527kN}{1.5m \cdot 3m} = 117,1kN/m^2 < 200kN/m^2$$

Jadi panel dengan ukuran 1.5 x 3 m bisa digunakan untuk mengamankan badan kapal.

Tabel 4.7 – Tekanan Kontak Ijin terhadap Jenis Kapal

Type of ship	Hull Pressure kN/m ²
<i>General Cargo</i>	
< 20 000 ton displacement	400-700
> 20 000 ton displacement	< 400
<i>Container ship</i>	
1st and 2nd generation	300-500
3rd generation	< 300
4th generation	< 250
5th and 6th generation	< 200
<i>Oil tankers</i>	
< 60 000 ton displacement	250-350
> 60 000 ton displacement	< 350
VLCC	150-200
<i>Bulk carriers</i>	
Gas tankers (LNG/LPG)	< 200

Sumber : Port Designer's Handbook-Thoresen

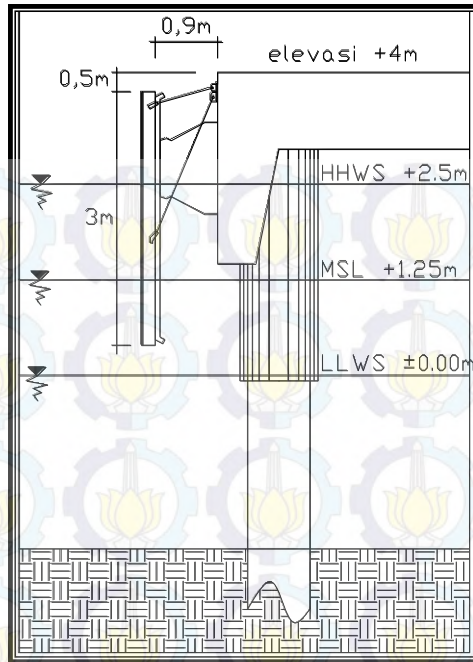
4.6.6 Pemasangan Fender

a. Pemasangan Horizontal Fender

Pemasangan fender arah horizontal tidak perlu direncanakan karena fender diletakkan pada breasting dolphin yang direncanakan selanjutnya.

b. Pemasangan Vertikal Fender

Pemasangan fender arah vertikal ini disesuaikan dengan dimensi kapal yang akan bersandar, tinggi pasang surut dan elevasi dermaga. Fender diletakkan ditengah 0.5 m kebawah dari elevasi dermaga dan 0.5 m ke atas dari LWS. Gambar pemasangan vender arah vertikal dapat dilihat pada **Gambar 4.9** dibawah ini



Gambar 4.9 Pemasangan fender
Sumber : hasil perhitungan

4.7 Perhitungan Boulder

4.7.1 Perencanaan Boulder

Boulder merupakan konstruksi untuk mengikat kapal pada tambatan. Perlu direncanakan boulder yang mampu menahan beban tarikan kapal pengangkut urea curah 30000 DWT beserta aksesorisnya.

4.7.2 Gaya Tarik Akibat Bobot Kapal

Dari **Tabel 2.1** (Gaya Tarik pada Boulder), untuk kapal dengan bobot 30000 DWT dan GRT 19990 ton, maka nilai $P_a = 100$ ton.

4.7.3 Gaya Tarik Akibat Arus

Arus yang bekerja pada bagian kapal yang terendam air juga akan menyebabkan terjadinya gaya pada kapal yang

kemudian diteruskan pada dermaga dan alat penambat (boulder). Dalam perhitungan gaya arus ini diambil kondisi yang paling kritis yaitu tegak lurus (90°) terhadap sumbu memanjang kapal. Perhitungan tekanan arus adalah:

$$\gamma_c = 1,025 \text{ tm}^{-3}$$

$$A_c = \text{LOA} \times D = 178 \times 9,5 = 1691 \text{ m}^2$$

$$V_c = \text{kecepatan arus maksimum sejajar sumbu memanjang kapal di lokasi} \\ = 5 \text{ knots} = 0,25 \text{ m/s}$$

$$C_c = 0,6 \text{ (arah arus sejajar kapal)}$$

$$g = \text{percepatan gravitasi} = 9,8 \text{ m/s}^2$$

Jadi gaya tarikan akibat arus adalah

$$P_c = \frac{0,6 \times 1,025 \times 1691 \times 0,25^2}{2 \times 9,8} = 3.32 \text{ ton}$$

4.7.4 Gaya Tarik Akibat Angin

Gaya angin yang diperhitungkan di sini adalah gaya angin yang bekerja pada bagian kapal yang terletak di atas permukaan air (tegak lurus dengan sumbu kapal dan sejajar sumbu kapal). Tinggi kapal di atas permukaan air dipengaruhi oleh kapal dalam keadaan sarat penuh dan kosong. Bagian kapal yang terendam pada saat kapal kosong adalah sepertiga tinggi draft kapal. Gaya tekanan angin dapat dihitung:

$$C_w = 1,3 \text{ untuk angin melintang}$$

$$A_w = \text{LOA} \times (\text{depth-draft}) = 178 \times (13,9 - 9,5) \\ = 783,2 \text{ m}^2$$

$$B_w = B \times (\text{depth-draft}) = 27,6 \times (13,9 - 9,5) \\ = 121,44 \text{ m}^2$$

$$\emptyset = 45^\circ$$

$$V_w = 4,52 \text{ knots} = 2,26 \text{ m/s}$$

Jadi gaya tarikan akibat angin adalah

$$P_w = 1,3 \times (783,2 \times \sin^2 90 + 121,44 \times \cos^2 90) \times \frac{2,26^2}{1600}$$

$$= 3,25 \text{ kN} = 0,325 \text{ ton}$$

4.7.5 Gaya Tarik yang Menentukan

Dari perhitungan gaya-gaya di atas gaya akibat bobot kapal (100 ton) lebih kecil dari pada gaya akibat arus di tambah angin ($3,32 + 0,325 = 3,645$ ton), sehingga gaya boulder yang dipakai adalah gaya akibat bobot kapal.

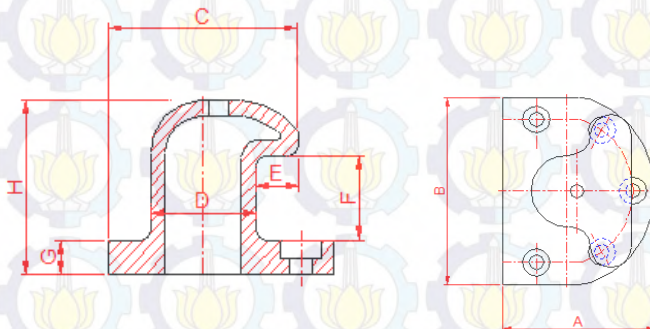
4.7.6 Pemihan Tipe Boulder

Untuk pemilihan boulder digunakan *tee boulder* dari *zalda technology* dengan kapasitas 100 ton (Tabel 4.8).

Tabel 4.8 Spesifikasi Tee Boulder

Pull Tonnage	Type	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Bolt No.
10-15	SBA1-10	350	400	330	170	80	140	50	280	300	5
20-30	SBA1-20	450	550	380	210	90	160	65	330	450	5
30-50	SBA1-30	550	650	480	260	120	200	75	410	550	5
50-75	SBA1-50	670	800	590	320	130	250	85	500	600	5
75-100	SBA1-75	730	840	630	360	140	280	100	580	700	7

Sumber : <http://www.zaldatechnology.com>



Gambar 4.10 Ukuran Tee Boulder

Sumber : <http://www.zaldatechnology.com>

Spesifikasi angker untuk bolder adalah:

- Diameter baut = 4.2 cm
- f_u baut = 5000 kg/cm²
- f_y baut = 2900 kg/cm²

Kontrol sambungan boulder meliputi:

a. Menghitung Momen Lentur

$$\begin{aligned} M_u &= P_u \times e; e = F + G = 280 + 100 = 380 \text{ mm} = 0.38 \text{ m} \\ &= 100 \times 0.38 = 38 \text{ tm} \\ &= 3800000 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

b. Menghitung Gaya yang Dipikul Tiap Baut

$$V_u = P_u/n = 100/5 = 20 \text{ ton} = 20000 \text{ kg}$$

Kontrol geser baut:

$$\begin{aligned} A_b &= 0.25 \pi D^2 \\ &= 0.25 \times 3.14 \times 4.2^2 = 13.8 \text{ cm}^2 \\ f_{uv} &= V_u/A_b < \phi f \times r_l \times f_{ub} \\ &= 20000/13.8 < 0.7 \times 0.5 \times 5000 \\ &= 1449.28 \text{ kg/cm}^2 < 1750 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

c. Menghitung Gaya Tarik Baut

$$T_d = 0.75 \times 5000 \times 13.8 = 51750 \text{ kg}$$

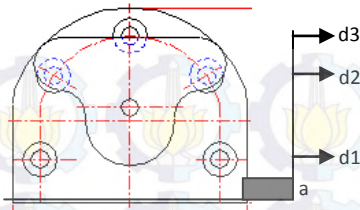
$$\begin{aligned} T_{d \text{ baut}} &= \phi 0.75 \times f_{ub} \times A_b \\ &= 0.5 \times 0.75 \times 5000 \times 13.8 \\ &= 25875 \text{ kg} \end{aligned}$$

Jadi pakai $T_d = 51750 \text{ kg}$

d. Mencari Garis Netral (a)

$$a = \frac{\sum T}{f_{yp} \cdot b} = \frac{5 \cdot 51750}{2500 \cdot 84} = 1.23 \text{ cm}$$

Garis netral dapat dilihat pada gambar 4.12



Gambar 4.11 Letak titik pusat baut

e. Kontrol Momen

$$\begin{aligned} d1 &= (C-D-E)/10 - a \\ &= (630 - 360 - 140)/10 - 1,23 = 11,77 \text{ cm} \\ d2 &= (C - E)/10 - a \\ &= (630 - 140)/10 - 1,23 = 47,77 \text{ cm} \\ d3 &= (C)/10 - a \\ &= (630)/10 - 1,23 = 61,77 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi Mn &= \frac{0.9 \cdot 2900 \cdot 1,23^2 \cdot 84}{2} + 51750 \cdot (11,77 + 47,77 + 67,77) \\ &\quad + 51750 \cdot (11,77 + 47,77) \\ \phi Mn &= 9835331 \text{ kgcm} > Mu(\text{OK}) \end{aligned}$$

f. Kuat Baut Rencana

Digunakan baut m42 sebagai angker dengan mutu BJ50
 $f_u = 500 \text{ MPa}$

g. Kuat Geser Baut

$$\begin{aligned} V_u &= P_u/n = 100/5 = 20 \text{ ton} = 20000 \text{ kg} \\ A_b &= 0.25 \pi D^2 \\ &= 0.25 \cdot 3.14 \cdot 4.2^2 = 13.8 \text{ cm}^2 \\ \phi R_n &= \phi f_r l \cdot f_u \cdot A \\ &= 0.75 \times 0.5 \times 5000 \times 13.8 \\ &= 25875 \text{ kg} \\ V_u &< \phi R_n (\text{OK}) \end{aligned}$$

h. Kontrol Panjang Pengangkuran

$$Ld = \frac{T}{\pi \cdot d \cdot \sqrt{f_c'}}$$

$$Ld = \frac{20000}{\pi \cdot 4.2 \cdot \sqrt{350}} = 81 \text{ cm}$$

Pakai anker 90 cm

4.8 Pembebanan

4.8.1 Beban yang Bekerja pada *Breasting Dolphin*

a. Beban Vertikal

- Beban Mati
Beban mati pada *Breasting Dolphin* berasal dari berat sendiri 2.9 t/m^3
- Beban Hidup
 - Beban hidup *Breasting Dolphin* sebesar 0.5 t/m^2
 - beban air hujan setebal 5 cm ($0.05 \times 1 = 0.05 \text{ t/m}^2$)
 - Berat Fender
 - Berat boulder

b. Beban Horizontal

- Beban Tumbukan Kapal
Beban horizontal akibat tumbukan kapal diambil dari gaya reaksi fender dari perhitungan fender sebelumnya. Maka besar beban horizontal dari reaksi fender *Super SCN* dipilih fender tipe SCN 900 E 0.9 adalah 250 kN atau 25 ton yang dibebani di tiap *breasting dolphin*.
- Beban Tarikan Kapal
Beban horizontal akibat gaya tarik kapal diambil dari besar gaya tarik boulder. Dari perhitungan boulder didapat besar gaya tarik yang dibebani di setiap letak boulder.

c. Beban Gempa

Beban gempa menggunakan analisa respon spektrum dengan program SAP 2000

4.8.2 Beban yang Bekerja pada Loading Platform

a. Beban Vertikal

- Beban Mati

Beban mati pada *Loading Platform* berasal dari berat sendiri 2.9 t/m^3

- Beban Hidup

- Beban hidup *Loading Platform* sebesar 0.5 t/m^2

- beban air hujan setebal 5 cm ($0.05 \times 1 = 0.05 \text{ t/m}^2$)

- Berat *shiploader*

b. Beban Gempa

Beban gempa menggunakan analisa respon spektrum dengan program SAP 2000

4.8.3 Beban yang Bekerja pada Catwalk

a. Beban Mati

Pada struktur catwalk beban mati berasal dari berat profil itu sendiri serta beban pelat di atasnya. Dalam perencanaan tugas akhir ini direncanakan catwalk sebagai struktur rangka dari profil CHS .

b. Beban Hidup

Beban hidup untuk catwalk dipakai 250 kg/m^2

c. Beban Angin

Beban angin untuk catwalk diambil sebesar 40 kg/m^2



BAB V

PERENCANAAN LAYOUT

5.1 Umum

Perencanaan layout suatu dermaga perlu direncanakan dengan seksama. Suatu dermaga harus memiliki dimensi yang cukup agar dapat melayani kapal dengan baik. Misal elevasi dermaga harus dihitung agar tidak terjadi banjir ketika terjadi pasang. Oleh karena itu perencanaan layout ini dilakukan untuk melihat apakah dermaga yang direncanakan telah sesuai standar yang ada.

5.2 Perencanaan Layout Perairan

- Kebutuhan areal penjangkaran (anchorage area)
Untuk area penjangkaran diasumsikan berada pada kondisi baik, sehingga
$$\text{Luas} = \text{LOA} + 6d = 178 + 6 \times 9,5$$
$$= 235 \text{ m} \sim 250 \text{ m}$$
- Kebutuhan lebar alur masuk (entrance channel)
Di asumsikan kapal sering berpapasan sehingga:
$$\text{Lebar} = 2 \text{ LOA} = 2 \times 178$$
$$= 356 \text{ m}$$
- Kebutuhan panjang alur (stopping distance)
Kapal dengan kecepatan 5 knot, sehingga:
$$\text{Panjang alur} = 1 \text{ LOA} = 1 \times 178$$
$$= 178 \text{ m} \sim 200 \text{ m}$$
- Kebutuhan kolam putar (Turning basin)
Direncanakan kapal bermanuver dengan dipandu, maka:
$$\text{Kolam} = 2 \text{ LOA} = 2 \times 178 = 356 \text{ m}$$
- Kebutuhan panjang kolam dermaga
$$\text{Panjang kolam} = 1.25 \text{ LOA}$$
$$= 1.25 \times 255 = 318,7 \text{ m} \sim 350 \text{ m}$$
- Kebutuhan lebar kolam dermaga
Dermaga adalah dermaga bebas, sehingga:

$$\begin{aligned}\text{Lebar kolam} &= 1.25 B = 1.25 \times 27,6 \\ &= 34,5 \text{ m} \sim 40 \text{ m}\end{aligned}$$

- Kedalaman perairan
Kondisi perairan di wilayah Bontang dengan kedalaman -13.6 mLWS. Sesuai dengan data kapal rencana, dermaga curah urea direncanakan melayani kapal dengan draft -13.9 mLWS. Menurut Technical Standards for Port and Harbour Facilities in Japan kedalaman minimum untuk perairan tenang adalah 1.1 draft kapal rencana. Jadi kedalaman minimum yang diperlukan adalah:

$$D = 1.1 \text{ Draft}$$

$$D = 1.1 \times 9,5\text{m}$$

$$D = 10,45 \approx 11 \text{ m} > -2,5 \text{ mLWS}$$

Karena kedalaman perairan eksisting hanya -2,5 mLWS, maka diperlukan penambahan kedalaman sedalam 8,5 m untuk mencapai kedalaman -11 mLWS. Penambahan kedalaman dilakukan dengan melakukan pengerukan yang akan dibahas pada bab tersendiri.

Tabel 5.1 Perencanaan layout perairan

Variabel	Besarnya (m)	Pakai(m)	Keterangan
Achourage area	235	250	LOA+6Draft; penjangkaran baik
Entrance channel	356	360	2LOA; kapal sering brpapas
Stopping Distance	178	200	1LOA; $\pm 10000\text{DWT}$ 5knot
Turning Basin	356	360	2LOA; bermanuver dengan dipandu
Panjang Kolam dermaga	318,7	350	1,25LOA; kapal dipandu
Lebar kolam dermaga	34,5	40	1,25B; dermaga bebas
Kedalaman Perairan	10,45	11	1,1D; perairan tenang

Sumber: Hasil Perhitungan

5.3 Perencanaan Layout Dermaga

Perencanaan layout dermaga untuk untuk loading urea dapat berbentuk *Bulk Ship Loader* (BSL) dan *Quadrant Ship Loader* (QAL). Dikarenakan ada 2 pilihan struktur,

maka akan dianalisis masing-masing pilihan struktur tersebut.

5.3.1 Bulk Ship Loader (BSL)

1. Panjang Dermaga

Panjang dermaga ini dievaluasi dengan rumus berikut:

$$\begin{aligned} L_p &= n.Loa + (n-1) 15 + 50 \\ &= 1 \times 178 + 50 \\ &= 228 \text{ m} \approx 230 \text{ m} \end{aligned}$$

2. Lebar Dermaga

Lebar dermaga ini dievaluasi dengan ketentuan-ketentuan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Lebar Tepi Dermaga} &= 2 \text{ m} \\ \text{Jarak Rel Crane} &= 15,3 \text{ m} \\ \text{Maka kebutuhan lebar dermaga} &= \\ &= 2 + 15,3 = 17,3 \text{ m} \end{aligned}$$

3. Elevasi Dermaga

Elevasi dermaga dihitung pada saat air pasang dengan perumusan:

$$El = \text{beda pasang surut} + (0.5\text{m} - 1.5 \text{ m})$$

Dimana:

Beda pasang surut = 2,5 m (berdasarkan pencatatan pasang surut di perairan Bontang),
maka Elevasi yang dibutuhkan = $2,5 + 1.5 = 4\text{m}$

Ternyata setelah perencanaan layout dermaga dihitung, terjadi sedikit kekurangan pada kedalaman perairan, karena kedalaman yang dibutuhkan kapal rencana (-16 mLWS) lebih besar daripada kedalaman perairan yang ada (-2,5 mLWS).

Tabel 5.2 Perencanaan Dermaga BSL

Variabel	Besarnya (m)	Dipakai (m)
Elevasi Dermaga	+4 mLWS	+4 mLWS
Panjang Dermaga	228	230
Lebar Dermaga	17,3	20

Sumber : Hasil Perhitungan

5.3.2 Quadrant Arm Loader (QAL)

Konstruksi dolphin digunakan pada dermaga yang melayani muat curah urea. Breasting dolphin merupakan dolphin penahan yang dilengkapi dengan adanya fender untuk menerima gaya tubruk dari kapal dan boulder untuk menahan gaya tarikan kapal.

1. Elevasi Struktur

Menurut design kriteria perencanaan pelabuhan (1985), tinggi elevasi dermaga/dolphin dihitung dari muka air pasang tertinggi (HWS). Hal-hal yang diketahui untuk menentukan elevasi dolphin adalah:

- Pasang surut = 2,50 meter
- Kedalaman kolam dermaga = 11 meter

Dari data tersebut dapat diketahui elevasi dolphin yaitu antara 0.5m–1.50m, diukur dari HWS. Maka elevasi apron dolphin yang diperlukan :

$$H = \text{HWS} + (0.5 - 1.5 \text{ m})$$

$$H = 2,5 \text{ m} + (0.5 - 1.5 \text{ m})$$

$$H = 3 - 4 \text{ m diambil } \sim 4.00 \text{ meter}$$

Jadi tinggi elevasi dolphin yang direncanakan adalah +4.00 m LWS .

2. Ukuran *Loading Platform*

Dimensi utama dari *Loading platform* ditentukan oleh jarak yang dibutuhkan antara rel *Shiploader*. Jarak minimum antar rel *shiploader* adalah 3-4.5 m. Jarak rel *shiploader* dengan *pivot structure* 41,5 m

3. Ukuran *Mooring Dolphin*

Mooring Dolphin harus ditempatkan berjarak 35 – 50 m di belakang *Berthing face* agar sudut vertikal tidak melebihi 30^0 . Jarak antar *Mooring Dolphin* ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$\begin{aligned}\text{Outer} &= 1.35 \text{ LOA Kapal terbesar} \\ &= 1.35 \times 178 = 240,3 \text{ m} \sim 240 \text{ m} \\ \text{Inner} &= 0.80 \text{ LOA Kapal terbesar} \\ &= 0.80 \times 178 = 142.4 \text{ m} \sim 140 \text{ m}\end{aligned}$$

Penempatan *Mooring Dolphin* harus diatur sedemikian rupa sehingga sudut horizontal yang dibutuhkan oleh tali tidak melebihi ketentuan yang berlaku.

3. Ukuran *Breasting Dolphin*

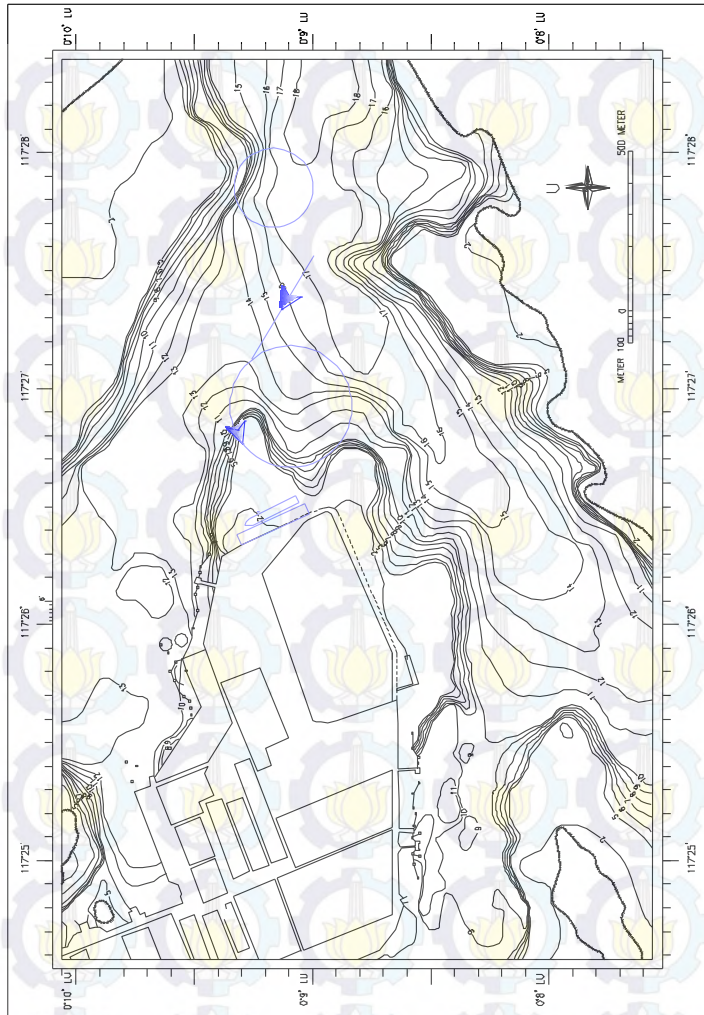
Breasting Dolphin harus bersifat fleksibel karena harus mampu menyerap EK kapal. Jarak antar *Breasting Dolphin* dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$\begin{aligned}\text{Outer} &= 0.25 - 0.40 \text{ LOA Kapal terbesar} \\ &= 0.3 \times 178 = 53,4 \text{ m} \sim 50 \text{ m} \\ \text{Inner} &= 0.25 - 0.40 \text{ LOA Kapal terkecil} \\ &= 0.3 \times 178 = 53,4 \text{ m} \sim 50 \text{ m}\end{aligned}$$

Tabel 5.3 Perencanaan Dermaga QAL

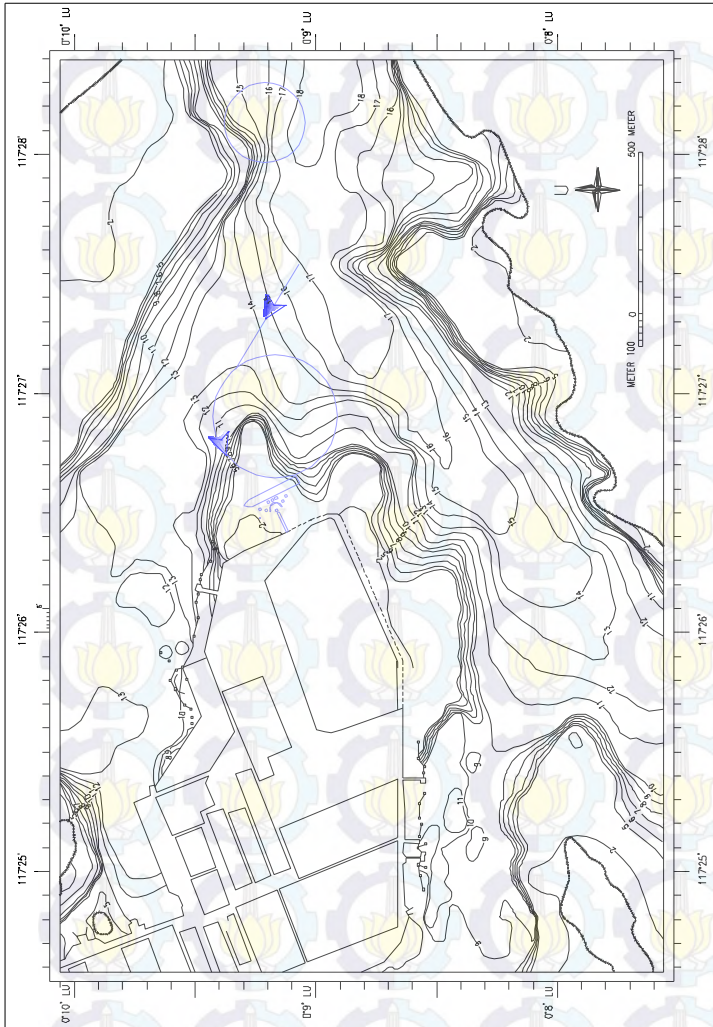
Variabel	Besarnya
Elevasi Dermaga	+4 mLWS
Dimensi Radial Loading Platform	jari-jari = 40 m
Dimensi Trestle	4 x 45 m2
Dimensi Pivot	4 x 4 m2
Dimensi Mooring Dolphin	5,6 x 5,6 m2
Dimensi Breasting Dolphin	5,6 x 6,4 m2

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 5.1 Rencana Layout Dermaga BSL

Sumber: perhitungan



Gambar 5.2 Rencana Layout Dermaga QAL

Sumber: perhitungan

5.4 Pemilihan Layout Dermaga

Seperti diuraikan diatas, perencanaan layout daratan untuk muatan curah urea ada dua alternatif, yaitu alternatif pertama *Bulk Ship Loader* (BSL) dan alternatif kedua *Quadrant Arm Loader* (QAL). Untuk perencanaan BSL, strukturnya bertipe *wharf* atau strukturnya menempel pada garis pantai.. Untuk perencanaan QAL, strukturnya bertipe *jetty*, yaitu struktur dermaganya menjorok ke arah lautan yang berfungsi untuk mengurangi volume pengerukan. Pada kedua alternatif tersebut, akan dipilih alternatif yang paling sesuai dari segi biaya. Untuk lebih lengkapnya, dapat dilihat pada tabel 5.4

Metode yang akan digunakan untuk menentukan alternatif yang terpilih adalah dengan menggunakan metode multikriteria. Alternatif yang akan dipilih nantinya adalah alternatif yang memiliki jumlah bobot x nilai yang tertinggi. Beberapa kriteria yang akan digunakan untuk pembobotan antara lain:

1. Biaya Konstruksi

Biaya konstruksi adalah biaya yang dikeluarkan untuk pembangunan masing-masing alternatif dermaga. Dikarenakan alternatif berada pada lokasi yang sama, memiliki mutu bahan dan spesifikasi yang sama, maka dianggap harga yang dikeluarkan tiap m^2 sama. Dengan demikian yang dijadikan acuan untuk mengetahui harganya adalah berapa luas konstruksi masing-masing alternatif. Pada alternatif BSL, luas konstruksi rencana (dermaga tipe *wharf*) adalah $4600 m^2$. Pada dermaga QAL, luas konstruksi rencana (*trestle, radial loading platform, dolphins*) adalah $513 m^2$.

2. Volume Pengerukan

Pada alternatif 1 dan 2, dibutuhkan adanya pengerukan. Perbedaan antara pengerukan untuk

alternatif 1 dan 2 terletak pada volume pengerukannya. Pada alternatif 1, karena dermaga bertipe *wharf*, maka pengerukan yang dibutuhkan pasti lebih besar karena letaknya yang berada pada garis pantai dibandingkan dengan alternatif 2 yang berbentuk *jetty* dan letaknya yang berada pada perairan yang lebih dalam.

3. Biaya Keselamatan

Biaya keselamatan adalah biaya yang dikeluarkan untuk peralatan yang menunjang keselamatan pada wilayah perairan. Pada alternatif 1 dikarenakan dermaga yang terletak didekat bangunan fasilitas pelabuhan yang lain dan banyak terdapat manusia, maka peralatan keselamatan lebih banyak dan lengkap. Pada alternatif 2, karena berada di laut dan tidak banyak manusia dan bangunan yang ada, maka peralatan keselamatannya berbeda dengan yang berada didekat daratan.

4. Biaya Operasional

Biaya operasional adalah biaya yang dikeluarkan untuk pengoperasian dermaga dalam kegiatannya sehari-hari. Pada alternatif 1 yang beroperasi adalah *conveyor belt*, *shiploader*. Pada alternatif 2, yang beroperasi adalah *conveyor belt*, *shiploader*. Perbedaan antara 2 alternatif ini adalah jenis *shiploader* yang beroperasi. Pada alternatif 1, operasional muat urea lebih lama dikarenakan kapal yang harus menyesuaikan letak *shiploader*. Pada alternatif 2, *shiploader* lah yang menyesuaikan kapal, sehingga lebih efisien dalam waktu muat urea.

5. Biaya Perawatan

Biaya perawatan adalah biaya yang harus dikeluarkan untuk perawatan dermaga dan peralatan yang ada di atasnya.

Besarnya bobot didapatkan dari hasil analisis, sedangkan besarnya nilai didapatkan dengan selisih besarnya harga atau volumenya. Besarnya nilai untuk masing-masing kriteria dapat dilihat sebagai berikut

1. Biaya (konstruksi, keselamatan, operasional, perawatan)

Nilai 1 : biaya konstruksi lebih dari 100 milyar rupiah

Nilai 2 : biaya konstruksi ± 90 milyar rupiah

Nilai 3 : biaya konstruksi ± 80 milyar rupiah

Nilai 4 : biaya konstruksi ± 70 milyar rupiah

Nilai 5 : biaya konstruksi ± 60 milyar rupiah

2. Volume Pengerukan

Nilai 1 : lebih dari 800.000 m³

Nilai 2 : ± 500.000 m³

Nilai 3 : ± 400.000 m³

Nilai 4 : ± 300.000 m³

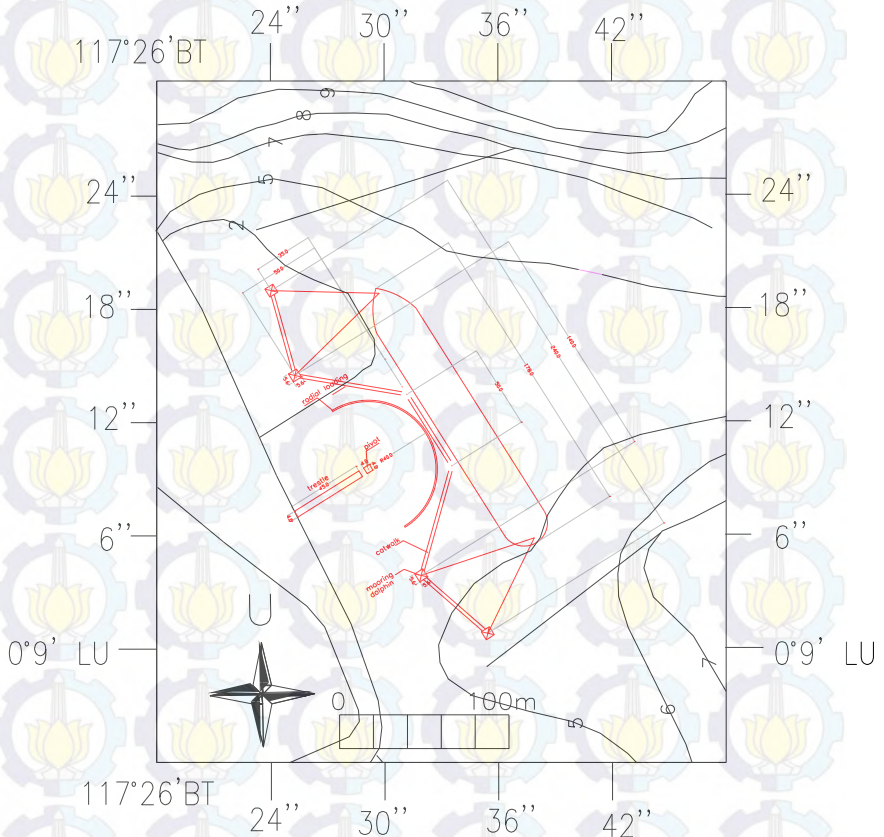
Nilai 5 : kurang dari 300.000 m³

Tabel 5.4 Perbandingan BSL dan QAL

No.	Kriteria	Alternatif 1			Alternatif 2		
		Bobot	Nilai	BxN	Bobot	Nilai	BxN
1.	Biaya Konstruksi	40	2	80	40	3	80
2.	Volume Pengerukan	15	1	15	15	2	30
3.	Biaya Keselamatan	15	3	45	15	4	60
4.	Biaya Operasional	15	3	45	15	4	60
5.	Biaya Perawatan	15	4	60	15	3	45
		100		245	100		275

Sumber : hasil perhitungan

Berdasarkan hasil perbandingan skor diatas, alternatif 2 (QAL) memiliki nilai paling tinggi, hal ini berarti alternatif QAL paling ekonomis dibandingkan alternatif BSL. Dari analisis diatas, maka alternatif QAL yang akan dipakai sebagai stuktur dermaga yang akandipakai.



Gambar 5.3 Rencana Layout Dermaga QAL

Sumber: perhitungan

BAB VI

PERHITUNGAN STRUKTUR

6.1 Sistem Operasional

Proses *loading* urea dimulai dari pabrik produksi. Setelah dari pabrik produksi, urea curah diangkut dengan menggunakan *conveyor belt* menuju ke *shiploader*. Pada *shiploader*, urea tersebut dimasukkan ke dalam kapal yang bersandar.

6.2 Perhitungan Struktur Catwalk

6.2.1 Umum

Struktur *catwalk* berfungsi sebagai struktur penghubung antara dolphins. Dimensi struktur *catwalk* yang direncanakan:

Panjang	: 18 m
Lebar	: 1,5 m
Jarak antar balok melintang	: 2 m
Tinggi	: 1,5 m

6.2.2 Perencanaan Balok Utama

Direncanakan profil balok utama untuk catwalk terbuat dari Profil Circular Hollow Section (CHS), dengan pertimbangan:

- Fabrikasi Hollow Section mudah dibentuk sesuai permintaan.
- Penampang bulat sehingga menjadi lebih estetik

1. Spesifikasi Balok Utama

Profil hollow yang direncanakan mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

- Outside diameter (D) = 323,85 mm
- Wall thickness (t) = 12,7 mm
- Young Modulus (E) = 2100000 kg/cm²
- Sectional Area (A) = 123,8707 cm²
- Moment of Inertia (I) = 15067,58 cm⁴
- Yield Strength (σ) = 2900 kg/cm²
- Length (l) = 2 m
- Jari-jari girasi (r) = 10,998 cm

2. Pembebanan Balok Utama

Beban rencana yang berada pada balok utama terdiri dari beban mati dan hidup yang berasal dari :

- Pelat transisi (transitional slab)
Pada elemen pelat direncanakan pelat baja dengan distribusi beban sebesar 100 kg/m^2
- Balok utama (main Beam)
Balok utama menggunakan CHS dengan spesifikasi bahan seperti di atas. Beban dari elemen ini secara otomatis akan dihitung sendiri oleh program SAP. Selain berat sendiri juga ada beban hidup sebesar 250 kg/m^2 .
- Beban angin sebesar 40 kg/m^2

3. Perhitungan Struktur

Dalam Tugas Akhir ini untuk perhitungan struktur digunakan program bantu SAP2000 V.14.0 kombinasi yang dipakai untuk beban rencana adalah:

- 1.4 D
- 1.2 D + 1.6 L
- 1.2 D + 1.0 L + 1.6 W
- 0.9 D + 1.6 W

Adapun output dari hasil analisis SAP dapat dilihat pada **tabel 6.1** dibawah ini.

Tabel 6.1 Output SAP Balok Utama Catwalk

Beban	Kombinasi	Besar	Frame
P (tekan)	envelope	1313.86 kg	21-1
P (tarik)	envelope	112694.8 kg	9-1
V	envelope	6631.97 kg	34-1
M	envelope	3068.91 kgm	17-1
U	envelope	0.01 m	joint 37
Reaksi	envelope	35907.4 kg	joint 37

Sumber: Hasil Perhitungan

4. Kontrol Struktur

- Kontrol Buckling

$$\lambda = D/t = 323,85/12,7 = 25,5$$

$$\lambda_p = 0.00448E/f_y = 0.00448 \times 2100000/2900 = 32,44$$

Karena $\lambda < \lambda_p$ maka profil kompak

- Kontrol kelangsingan komponen

$$\lambda = l/r = 200/10,998 = 18,185 < 200 \text{ (OK)}$$

- Kontrol kuat leleh

$$\begin{aligned}\Phi P_n &= 0.9 A_g f_y \\ &= 0.9 \times 123,87 \times 2900 \\ &= 323302,6 \text{ kg (leleh menentukan)}\end{aligned}$$

- Kontrol kuat putus

$$\begin{aligned}A_n &= A_g = 123,87 \text{ cm}^2 \\ \Phi P_n &= 0.75 A_e f_u \\ &= 0.75 \times 123,87 \times 5000 \\ &= 464515,2 \text{ kg}\end{aligned}$$

Kuat rencana tarik

$$\Phi P_n = 323302,6 \text{ kg} > P_{\text{tarik}} (112694,8 \text{ kg}) \text{..(OK)}$$

$$S_f = 2.87$$

- Kontrol Momen

$$\begin{aligned}S_{x,y} &= \text{modulus penampang plastis} \\ &= D^2 t - 2Dt^2 + 4/3 t^3 \\ &= 323,85^2 \times 12,7 - 2 \times 323,85 \times 12,7^2 + \\ &\quad 4/3 \times 12,7^3 \\ &= 929,1465 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Z_{x,y} &= \text{modulus penampang elastis} \\ &= (\pi/32D)(D^4 - 2(D^2 - 2t)^4) \\ &= (\pi/32 \times 323,85)(323,85^4 - 2(323,85^2 - 2 \\ &\quad \times 12,7)^4) \\ &= 1230,6685 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= S_{x,y} \cdot f_y \\
 &= 929,1465 \times 2900 \\
 &= 26945,2493 \text{ kgm (menentukan)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= Z_{x,y} \cdot 1.5 f_y \\
 &= 1230,6685 \times 1.5 \times 2900 \\
 &= 53534,0800 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$M_u (26945,2493 \text{ kgm}) > 3068,91 \text{ kgm (OK)}$$

$$S_f = 8,78$$

- Kontrol Gaya Tekan (Axial Force)

$$\begin{aligned}
 \lambda_r &= 0.114 E/f_y \\
 &= 0.114 \times 2100000/2900 = 82.55
 \end{aligned}$$

$$\lambda_c =$$

$$\frac{Kl}{r\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1 \cdot 200}{10.9982\pi} \sqrt{\frac{2900}{2100000}} = 0,2151$$

$$\text{Karena } \lambda < \lambda_r \text{ maka } Q = 1$$

$$F_{cr} = Q(0.658^{Q\lambda_c^2})f_y$$

$$\begin{aligned}
 F_{cr} &= 1(0.658^{1(0,2151)^2})2900 \\
 &= 2844,3785 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_n &= 0.85 F_{cr} \times A_g \\
 &= 0.85 \times 2844,3785 \times 123,8707 \\
 &= 299484,928 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$P_n > P_{\text{aktual}} (1313,86\text{kg}) \dots\dots\dots (\text{OK})$$

$$S_f = 227,94$$

- Kontrol Geser Bahan (Shear Force)

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0.9 F_{cr} \times A_g/2 \\
 &= 0.9 \times 2844,3785 \times 123,8707/2 \\
 &= 158550,8442 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$V_n (158550,8442 \text{ kg}) > V_{\text{aktual}} (6631,97\text{kg}) (\text{OK})$$

$$S_f = 23,91$$

- Kontrol Tegangan Bahan (Yield Strength)

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{aktual}} &= \frac{P}{A} + \frac{M}{Z} \\ &= \frac{35907,4}{123,8707} + \frac{3068,91}{1230,669} = 912,27 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\sigma_{\text{ijin}} (2900 \text{ kg/cm}^2) > \sigma_{\text{aktual}} (912,27 \text{ g/cm}^2) \dots \text{OK}$$

Dengan SF = 3,18

- Kontrol Lendutan

$$\Delta_{\text{ijin}} = \frac{L}{180} = \frac{2}{180} = 0.011 \text{ m}$$

$$\Delta_{\text{ijin}} (0.011 \text{ cm}) > \Delta_{\text{aktual}} (0.010 \text{ cm}) \dots \dots (\text{OK})$$

6.2.3 Perencanaan Kerangka Balok

Direncanakan profil balok utama untuk catwalk terbuat dari Profil Circular Hollow Section (CHS).

1. Spesifikasi Kerangka Balok

Profil hollow yang direncanakan mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

- Outside diameter (D) = 219,075 mm
- Wall thickness (t) = 12,7 mm
- Young Modulus (E) = 2100000 kg/cm²
- Sectional Area (A) = 82,5804 cm²
- Moment of Inertia (I) = 4412,053 cm⁴
- Yield Strength (σ) = 2900 kg/cm²
- Length (l) = 2.0 m
- Jari-jari girasi (r) = 7,315 cm

2. Pembebanan Kerangka Balok

Beban rencana yang berada pada balok utama terdiri dari beban mati dan hidup yang berasal dari :

- Pelat transisi (transitional slab)

Pada elemen pelat direncanakan pelat baja dengan distribusi beban sebesar 100 kg/m^2

- Kerangka Balok

Kerangka Balok menggunakan CHS dengan spesifikasi bahan seperti di atas. Beban dari elemen ini secara otomatis akan dihitung sendiri oleh program SAP. Selain berat sendiri juga ada beban hidup sebesar 250 kg/m^2 .

3. Perhitungan Struktur

Dalam Tugas Akhir ini untuk perhitungan struktur digunakan program bantu SAP2000 V.14. kombinasi yang dipakai untuk beban rencana adalah:

- 1.4 D
- 1.2 D + 1.6 L
- 1.2 D + 1.0 L + 1.6 W
- 0.9 D + 1.6 W

Adapun output dari hasil analisis SAP dapat dilihat pada **Tabel 6.2** dibawah ini.

Tabel 6.2 Output SAP Balok Rangka Catwalk

Beban	Kombinasi	Besar	Frame
P (tekan)	envelope	19049.39 kg	51-1
P (tarik)	envelope	20278.48 kg	77-1
V	envelope	1662.21 kg	81-1
M	envelope	806.58 kgm	82-1
U	envelope	0.010084 m	joint 37
Reaksi	envelope	35907.4 kg	joint 37

Sumber: Hasil Perhitungan

4. Kontrol Struktur

- Kontrol kekuatan Balok Rangka 1

- Kontrol Buckling

$$\lambda = D/t = 219,075/12,7$$

$$= 17,25$$

$$\begin{aligned}\lambda_p &= 0.00448 E/f_y \\ &= 0.00448 \times 2100000/2900 = 32\end{aligned}$$

Karena $\lambda < \lambda_p$ maka profil kompak

- Kontrol kelangsingan komponen

$$\begin{aligned}\lambda &= l/r = 200/7,315 \\ &= 27,34 < 200 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

- Kontrol kuat leleh

$$\begin{aligned}\Phi P_n &= 0.9 A_g f_y \\ &= 0.9 \times 82,58 \times 2900 \\ &= 215535,0528 \text{ kg (Leleh Menentukan)}\end{aligned}$$

- Kontrol kuat putus

$$\begin{aligned}A_n &= A_g = 82,58 \text{ cm}^2 \\ \Phi P_n &= 0.75 A_e f_u \\ &= 0.75 \times 82,58 \times 4000 \\ &= 309676,8 \text{ kg}\end{aligned}$$

Kuat rencana tarik

$$\begin{aligned}\Phi P_n &= 215535,0528 \text{ kg} > P_{\text{tarik}} (20278.48 \text{ kg}) \\ &\text{(OK)} \\ S_f &= 10.63\end{aligned}$$

- Kontrol Momen

$$\begin{aligned}S_{x,y} &= \text{modulus penampang plastis} \\ &= D^2 t - 2 D t^2 + 4/3 t^3 \\ &= 219,075^2 \times 12,7 - 2 \times 219,075 \times 12,7^2 + \\ &\quad 4/3 \times 12,7^3 \\ &= 401,48 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Z_{x,y} &= \text{modulus penampang elastis} \\ &= (\pi/32 D)(D^4 - 2(D^2 - 2t)^4) \\ &= (\pi/32 \times 219,075^2)(219,075^4 - 2(219,75^2 \\ &\quad - 2 \times 12,7)^4) \\ &= 540,7731 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mu &= S_{x,y} \cdot f_y \\ &= 401,48 \times 2900 \\ &= 11643,00897 \text{ kgm (menentukan)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mu &= Z_{x,y} \cdot 1.5 f_y \\ &= 540,7731 \times 1.5 \times 2900 \\ &= 23523,6304 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$Mu (116643,00897 \text{ kgm}) > M_{\text{aktual}} (806,58 \text{ kgm})$$

(OK)

$$Sf = 14,435$$

- Kontrol Gaya Tekan (Axial Force)

$$\begin{aligned} \lambda_r &= 0.114 E/f_y \\ &= 0.114 \times 2100000/2900 = 82.55 \end{aligned}$$

$$\lambda_c = \frac{Kl}{r\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1 \cdot 200}{7,3152 \pi} \sqrt{\frac{2900}{2100000}} = 0,3234$$

Karena $\lambda < \lambda_r$ maka $Q = 1$

$$F_{cr} = Q(0.658^{Q\lambda_c^2})f_y \quad (4.2-2)$$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= 1(0.658^{1(0,3234)^2})2900 \\ &= 2775,7887 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= 0.85 F_{cr} \times A_g \\ &= 0.85 \times 2775,7887 \times 13.2 \\ &= 194842,0684 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$P_n(194842,0684 \text{ kg}) > P_{\text{aktual}} (35907,4 \text{ kg})..(\text{OK})$$

$$Sf = 10,228$$

- Kontrol Geser Bahan (Shear Force)

$$\begin{aligned} V_n &= 0.9 F_{cr} \times A_g/2 \\ &= 0.9 \times 2775,7887 \times 82,58/2 \\ &= 103151,6833 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$V_n (103151,6833 \text{ kg}) > V_{\text{aktual}} (1662,21 \text{ kg})..(\text{OK})$$

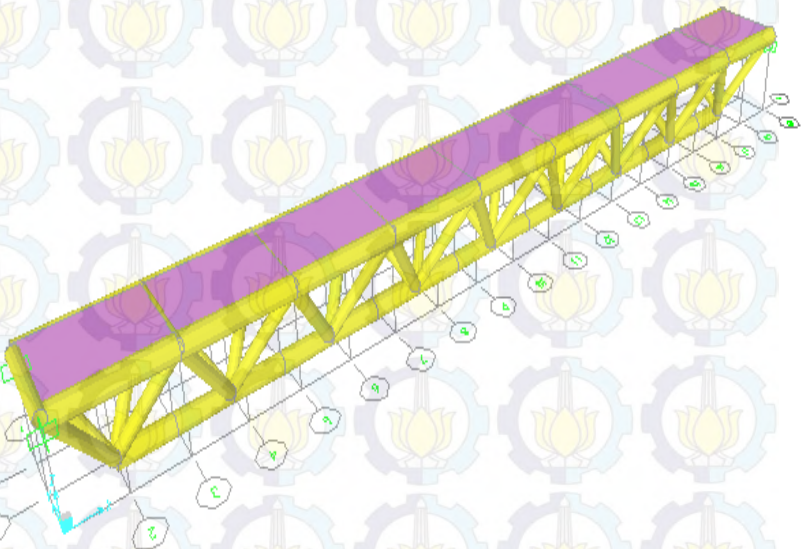
$$Sf = 62,06$$

- Kontrol Tegangan Bahan (Yield Strength)

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{aktual}} &= \frac{P}{A} + \frac{M}{Z} \\ &= \frac{20278,48}{82,58} + \frac{806,58}{540,7731} = 247,05 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

$$\sigma_{\text{ijin}} (2900 \text{ kg/cm}^2) > \sigma_{\text{aktual}} (247,05 \text{ kg/cm}^2)(\text{OK})$$

$$\text{Dengan } Sf = 11.74$$



Gambar 6.1 Struktur Catwalk

Sumber: hasil perhitungan

6.3 Pivot Structure

6.3.1 Umum

Pivot structure adalah struktur yang berfungsi sebagai tempat kaki crane shiploader yang berbentuk radial. Beban yang bekerja pada struktur ini adalah beban shiploader dan beban gempa.

6.3.2 Perhitungan *Upperstructure*

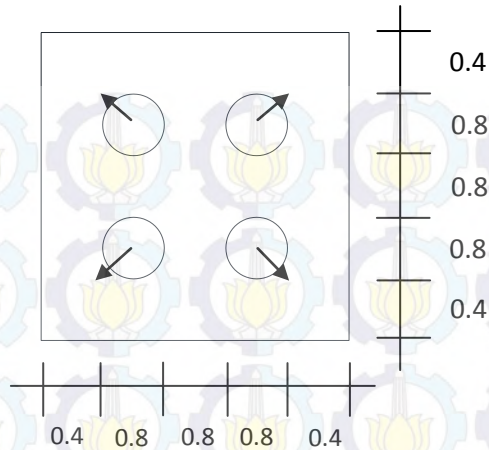
1. Pembebanan

a. Konfigurasi tiang pancang dan poer

Pivot structure terdiri dari poer pada struktur atasnya dan tiang pancang pada substruktur. Struktur poer berfungsi sebagai penyambung antar ujung tiang pancang, sehingga sekaligus berfungsi sebagai balok dan pelat. Pivot struktur berfungsi sebagai tempat kaki shiploader yang digunakan dalam proses muat, sehingga diperlukan konfigurasi yang sesuai supaya menghasilkan kinerja maksimal dan hemat.

Dalam tugas akhir ini pivot structure direncanakan dengan konfigurasi sebagai berikut:

- Jenis poer : Poer ganda dengan 4 tiang
- Geometri : kotak dengan dimensi $3.2 \times 3.2 \text{ m}^2$
- Tebal : 1.2 m
- Kemiringan : 1/10



Gambar 6.2 : Konfigurasi Tiang Pancang Pivot
Sumber: Hasil Perhitungan

b. Pembebanan

Beban yang terjadi pada pivot structure adalah:

- Vertikal

- Beban Mati

$$\text{Berat poer} = 3,2 \times 3,2 \times 1,2 \times 2,9 = 55,68 \text{ ton}$$

$$\text{Berat crane} = 15000 \text{ kg} = 15 \text{ ton}$$

- Beban Hidup

$$\text{Beban pangkalan} = 0,5 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Beban hujan} = 0,05 \text{ t/m}^2$$

- Horizontal

- Beban Gempa

Untuk perhitungan gaya gempa, pada program SAP 2000 menggunakan respon spektrum zona 2, sehingga beban gempa yang terjadi akan dihitung pada program tersebut.

Spesifikasi tiang pancang yang digunakan:

Data Tiang Pancang

D1	= 812.8 mm	W	= 7820 cm ³
D2	= 780.8 mm	r	= 28.2 cm
t	= 16 mm	fu	= 5000 kg/cm ²
A	= 400.5 cm ²	σijin	= 2100 kg/cm ²
I	= 318000 cm ⁴	E	= 2100000 kg/cm ²

Mengitung Periode Getar Bangunan

$$T = 0.06 \cdot H^{\frac{3}{4}}$$

Tinggi Struktur (H) = Zf + e

Perhitungan letak titik jepit tanah terhadap tiang untuk tanah normally consolidated clay and granular soil, Zf = 1.8T dimana:

$$T = \left(\frac{E \cdot I}{nh} \right)^{\frac{1}{5}}$$

E = 2100000 kg/cm²

I = 318000 cm⁴

nh = Nilai nh diambil sebesar 700 kNm⁻³ untuk tanah stiff clay.

$$T = \left(\frac{2100000 \times 318000}{0,07} \right)^{\frac{1}{5}} = 394,375 \text{ cm} = 3,94 \text{ m}$$

Zf = 1.8 x 3,94 = 7,098 m

e = Elevasi bangunan + kedalaman perairan
= 4 + 4 = 8 m

Maka;

H = Zf + e = 7,098 + 8 = 15,09 = 15 m

2. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang dipakai dalam Pivot Structure adalah:

- $DL + LL$
- $DL + 0.5 LL + F_x + 0.3 F_y$
- $DL + 0.5 LL + 0.3 F_x + F_y$

Dimana:

DL = beban mati dan berat sendiri struktur

LL = beban hidup merata pada struktur

F_x = beban gempa arah X

F_y = beban gempa arah Y

3. Penulangan Poer

Data Poer

$$p = 3,2 \text{ m}$$

$$; d = 8 \text{ cm}$$

$$l = 3,2 \text{ m}$$

$$; D = 3.2 \text{ cm}$$

$$h = 1.2 \text{ m}$$

$$; A_s = 8.04 \text{ cm}$$

Data Bahan

Beton

$$\sigma_{bk} = 350 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = 117 \text{ kg/cm}^2$$

Baja

$$\sigma_{au} = 2780 \text{ kg/cm}^2$$

$$; E_a = 2100000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 1850 \text{ kg/cm}^2$$

$$; E_b = 119733,04 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2100000}{119733,04} = 17,54$$

$$\phi_0 = \frac{\sigma' a}{(n \times \sigma' b)} = \frac{1850}{(17,54 \times 115,5)} = 0,913$$

Perhitungan Tinggi Manfaat

$$h_x = h - d - 0.5D = 110,4 \text{ cm}$$

$$h_y = h - d - D - 0.5D = 107,2 \text{ cm}$$

Data gaya yang terjadi pada poer

a. Penulangan Arah X

$$M_x = 39,737 \text{ tm}$$

$$\Phi_o = 0,913$$

$$Ca = \frac{h_x}{\sqrt{\left(\frac{n \times M_x}{b \times \sigma_a}\right)}} = \frac{110,4}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \times 39737}{100 \times 1850}\right)}} = 5,69$$

Dengan nilai $\delta=0$ dan $Ca = 5,69$ dari tabel perhitungan cara "n" didapatkan

$$\Phi = 3.405 > \phi_o \text{ OK}$$

$$100n\omega = 3.33$$

$$\text{Maka } \omega = 0,001898$$

- Luas Tulangan Tarik

$$As = \omega b h = 0,001898 \times 100 \times 110,4 = 20,96 \text{ m}^2$$

Maka dipasang tulangan sejumlah 8, dengan D32-190 mm ($As = 64,307 \text{ m}^2$)

- Luas Tulangan Samping diambil 10% dari luas tulangan tarik (PBI 1971 9.3.5)

$$Asc = 10\% \times 64,307 = 6,4307 \text{ m}^2$$

Dipakai 4 ϕ 16 ($As = 8,03 \text{ m}^2$)

b. Penulangan Arah Y

$$M_x = 39,737 \text{ tm}$$

$$\Phi_o = 0,913$$

$$Ca = \frac{h_x}{\sqrt{\left(\frac{n \times M_x}{b \times \sigma_a}\right)}} = \frac{107,24}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \times 39737}{100 \times 1850}\right)}} = 5.523$$

Dengan nilai $\delta=0$ dan $Ca = 5,523$ dari tabel perhitungan cara "n" didapatkan

$$\Phi = 3,274 > \phi_o \text{ OK}$$

$$100n\omega = 3,574$$

$$\text{Maka } \omega = 0,002038$$

- Luas Tulangan Tarik

$$A_s = \omega b h = 0,002038 \times 100 \times 107,24 = 21,845 \text{ m}^2$$

Maka dipasang tulangan sejumlah 8, dengan D32-190 mm ($A_s = 64,307 \text{ cm}^2$)

- Luas Tulangan Samping diambil 10% dari luas tulangan tarik (PBI 1971 9.3.5)

$$A_{sc} = 10\% \times 64,307 = 6,307 \text{ m}^2$$

Dipakai 4 ϕ 16 ($A_s = 8,03 \text{ cm}^2$)

4. Kontrol

a. Kontrol Retak

Berdasarkan PBI 1971 pasal 10.7.1b retak yang diijinkan 0,01 cm. Dengan menggunakan Tabel 10.7.1 PBI 1971 maka didapatkan:

Koefisien – koefisien ω_p , C_3 , C_4 dan C_5 harus diambil dari tabel Tabel 10.7.1, PBI 1971 didapat

$$\omega_p = \frac{A}{Bh} = \frac{6430,7}{3200 \times 1200} = 0,00167$$

Untuk balok persegi dengan $c = 8 \text{ cm}$, didapatkan koefisien $C_3 = 1,5$; $C_4 = 0,04$ dan $C_5 = 7,5$

Maka lebar retak yang terjadi akibat pembebanan tetap akibat beban kerja dihitung dengan rumus :

$$w = \alpha \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) 10^{-6} \quad (cm)$$

$$w = 1 \left(1,5 \cdot 8 + 0,04 \cdot \frac{3,2}{0,00167} \right) \left(1850 - \frac{7,5}{0,00167} \right) 10^{-6} \quad (cm)$$

$$w = -0.2 \text{ cm} < 0,01 \text{ cm (OK)}$$

dikarenakan nilai retak minus sehingga kurang dari 0,01 cm, maka struktur dianggap kuat terhadap retak.

b. Kontrol Geser Pons

Pada struktur pivot, kontrol geser pons perlu dikontrol karena pada struktur ini tidak ada balok, sehingga tiang pancang langsung menumpu pada pelat sehingga kemungkinan besar terjadi plong pada plat atau poer. Tegangan geser pons ditentukan oleh rumus:

$$\tau_{bp} = \frac{P}{\pi \cdot (c + ht) \cdot ht} \leq \tau_{bm} \quad (\text{PBI 71 11.9.(2)})$$

Dimana:

P = gaya aksial pelat dari tiang pancang

c = diameter tiang pancang

ht = tinggi total pelat atau poer

τ_{bm} = tegangan ijin beton ($0.65\sqrt{\sigma'_{bk}}$)

Sehingga:

$$\tau_{bp} = \frac{107,10348}{\pi \cdot (81.28 + 120) \cdot 120} \leq 0.65\sqrt{350}$$

$$\tau_{bp} = 1,4122 \text{ kg/cm}^2 \leq 12,16 \text{ kg/cm}^2$$

Karena geser pons yang terjadi lebih kecil dari tegangan ijin beton, maka poer dikatakan aman dari gaya pons atau keruntuhan akibat pons.

6.3.3 Perhitungan *Substructure*

Data Tiang Pancang

D1 = 812.8 mm

D2 = 780.8 mm

t = 16 mm

A = 400.5 cm²

I = 318000 cm⁴

W = 7820 cm³

r = 28.2 cm

fu = 5000 kg/cm²

σ_{ijin} = 2100 kg/cm²

E = 2100000 kg/cm²

1. Kontrol Kebutuhan Kedalaman

Pada perencanaan struktur pivot, tiang pancang direncanakan dengan kemiringan 10:1. Rekap gaya dalam yang terjadi pada tiang dapat di lihat pada **tabel 6.3** di bawah ini

Tabel 6.3 Output SAP Gaya dalam Pivot

Beban	Kombinasi	Besar
P (tekan)	envelope	107.10348 ton
P(tarik)	envelope	0 ton
V	envelope	2.31655 ton
M	envelope	12.66729 tm
U	envelope	0.0005 m

Sumber: perhitungan

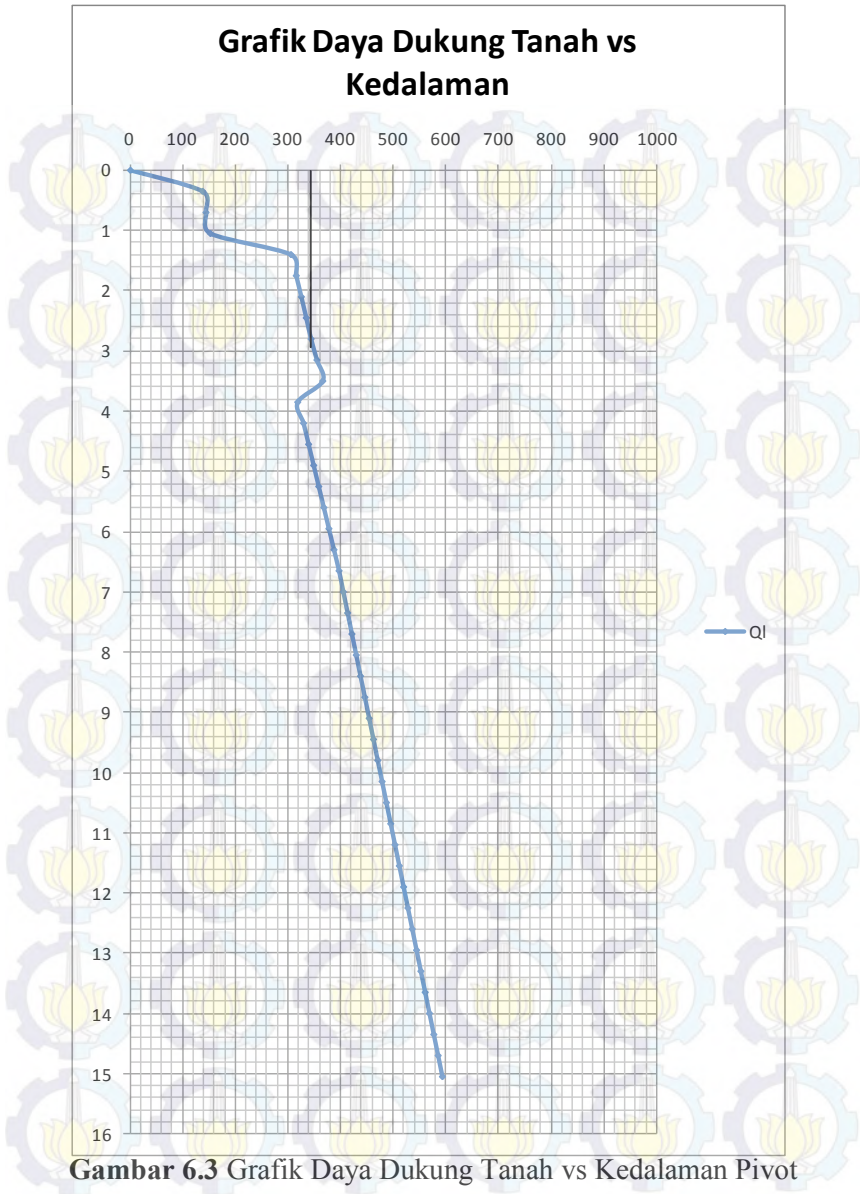
Hasil dari perhitungan SAP 2000 didapatkan hasil maksimum dari kombinasi beban, dengan menggunakan $SF = 3$, maka bisa dicari untuk kedalaman tiang yang diperlukan:

Tiang tekan

$$Q = 3 \times 107.10348 = 321,31044 \text{ ton}$$

Kedalaman = 15 m

Kedalaman tiang yang dibutuhkan untuk memikul tiang tekan adalah sedalam 18 mLWS. Dikarenakan pada hasil output SAP tidak ada gaya tarik, maka tiang pancang yang ada merupakan tiang tekan. Kebutuhan kedalaman tiang pancang dapat dilihat pada **Gambar 6.3**.



2. Kontrol Korosi

Korosi tiang diasumsikan terjadi sampai tiang ditumbuhi karang yaitu selama 10 tahun. Metode perawatan digunakan dengan menyediakan alokasi tebal tiang yang akan terkorosi yaitu setebal 3mm. sesuai dengan aturan OCDI kecepatan korosi adalah 0.3 mm/tahun, sehingga

$$\text{Diameter rencana} = 812.8 - 2 \times 3 = 806.8$$

$$\text{Diameter dalam} = 780.8 + 2 \times 3 = 786.8$$

$$\text{Luas penampang (A)} = 0.25 \pi (D1^2 - D2^2)$$

$$= 0.25 \pi (806.8^2 - 786.8^2)$$

$$= 39729.79 \text{ mm}^2$$

$$\text{Momen Inersia (I)} = 1/64 \pi (D1^4 - D2^4)$$

$$= 1/64 \pi (806.8^4 - 786.8^4)$$

$$= 1985893876 \text{ mm}^4 = 198589.39 \text{ cm}^4$$

$$\text{Section modulus (W)} = I/r = 198589.39 / 28.2 = 7042.18 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{ijin} \text{ (BJ 52)} = 2100 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_{ijin} = \sigma_{ijin} \times W$$

$$= 2100 \times 7042.18$$

$$= 14788571.42 \text{ kgcm} = 147.89 \text{ tm}$$

$$M_{ijin} > M_u (12,667 \text{ tm}) \dots\dots (\text{OK})$$

3. Kalendering

Perumusan kalendering yang dipakai adalah *Alfred Hiley*

Formula

$$Qu = \frac{\alpha.W.H}{S + 0.5.C} \times \frac{W + n^2.Wp}{W + Wp}$$

Karena perhitungan dilakukan sebelum pemancangan, maka yang dihitung adalah nilai S atau penetrasi/blow, yaitu pengamatan yang dilakukan rata-rata di tiga set terakhir, dengan 10 pukulan tiap setnya. Dan disyaratkan apabila untuk kedalaman yang sama $S > S'$, maka pemancangan dihentikan.

Dimana :

S = nilai penetrasi / blow rencana dari perhitungan

S' = nilai penetrasi / blow saat pemancangan

Kalendering tiang pancang

$$Q_u = 3 \times P = 3 \times 107,10348 = 321,31044 \text{ ton}$$

W = 10 ton (hydraulic hammer)

$$H_{\text{tiang}} = 2 \text{ m}$$

C1 = 5 mm (*untuk hard cushion + packing*)

C2 = 10 mm (Steel Pile)

C3 = 4 (soft ground)

$$C = c_1 + c_2 + c_3 = 19 \text{ mm}$$

$$W_{\text{tiang}} = \omega \times l = 0.314 \times (15^2 + 1.5^2)^{0.5} = 5,672 \text{ ton}$$

$\alpha = 2.5$ (*hydraulic hammer*)

n = 0,32 (*untuk compact wood cushion on steel pile*)

Maka

$$321,31044 = \frac{2.5 \cdot 10 \cdot 2}{S + 0.5 \cdot 0.019} \times \frac{10 + 0.32^2 \cdot 5,672}{10 + 5,672}$$

$$S = 0,009557 \text{ m} = 9,57 \text{ mm}$$

Jadi setting kalendering yang digunakan untuk tiang pancang adalah 9,6 mm

4. Kontrol Kuat Tekuk

Kontrol kuat tekuk pada tiang pancang tegak dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{(Z_f + e)^2}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 2100000 \cdot 198589.39}{(709,8 + 800)^2} = 1803650,383 \text{ kg} = 1803,65 \text{ ton}$$

$P_{cr} > P_u$ (107,103 ton) (OK)

5. Kontrol Gaya Horizontal

Beban yang dipikul oleh tiang pancang tidak hanya beban vertikal tetapi juga beban horizontal. Oleh karena itu perlu dilakukan pengecekan ketahanan tiang pancang terhadap beban horizontal. Gaya horizontal yang terjadi (hasil SAP 2000) harus lebih kecil dari gaya horizontal yang mampu dipikul bahan (Hu).

Perhitungan daya dukung tiang terhadap beban lateral menggunakan cara Tomlinson dalam "Daya Dukung Pondasi Dalam oleh Dr. Ir. Herman Wahjudi hal 55" :

$$Hu = \frac{2Mu}{e + Zf} = \frac{2 \times 147,8857}{7,098 + 8} = 19,589 \text{ ton}$$

$$H_{\max} = V = 2,31655 \text{ ton (OK)}$$

6. Kontrol Tegangan

Tegangan yang terjadi akibat beban aksial (P) dan momen (M) pada tiang yang didapat dari analisa SAP 2000 harus lebih kecil dari tegangan ijin tiang pancang (fy). Tegangan pada tiang pancang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P = 107103,48 \text{ kg}$$

$$M = 12666729 \text{ kgcm}$$

$$A = 250,1952 \text{ cm}^2$$

$$W = 7042,176866 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{P}{A} + \frac{M}{W} = \frac{107103,48}{250,1952} + \frac{12666729}{7042,176866} = 607,957 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Sigma_{\text{ijin}} = 2100 \text{ kg/cm}^2 > 607,957 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}$$

7. Kontrol Posisi Tiang Pancang Miring

Diketahui:

Panjang tiang : 18 m

Kemiringan tiang : 10:1

Jarak horizontal : $18/10 = 1.8 \text{ m}$

Jarak antar tiang 1.8 m

Jadi ujung bawah tidak saling berbenturan (aman)

8. Kontrol Tiang Berdiri Sendiri

$$\omega t = 1,73 \sqrt{\frac{EI}{wl^3/g}}$$

$$l = (18^2 + 1.8^2)^{0.5}$$

$$= 18,09 \text{ m} = 1809 \text{ cm}$$

$$w = 0,314 \times 18,09 = 5,68 \text{ ton}$$

$$= 5680 \text{ kg}$$

$$g = 980 \text{ cm/s}^2$$

$$\omega t = 1,73 \sqrt{\frac{2100000 \times 318000}{5680 \times 1809^3 / 980}} = 7,64 \text{ s}^{-1}$$

agar tiang dapat berdiri sendiri maka frekuensi tiang (ωt)

harus lebih besar dari frekuensi gelombang (ω).

$$\omega = \frac{1}{6} = 0.17 \text{ s}^{-1}$$

Karena frekuensi tiang (ωt) lebih besar dari frekuensi gelombang (ω), maka tiang aman untuk berdiri sendiri saat pelaksanaan pekerjaan.



Gambar 6.4 struktur pivot
Sumber: hasil perhitungan

6.4 Radial Loading Platform

6.4.1 Umum

Loading platform adalah struktur yang berfungsi sebagai tempat rel *shiploader* yang berbentuk radial. Beban yang bekerja pada struktur ini adalah beban *shiploader* dan beban gempa.

6.4.2 Perhitungan Struktur Balok

1. Pembebanan

a. Konfigurasi tiang pancang dan poer

Loading platform terdiri dari balok dan poer pada struktur atasnya dan tiang pancang pada substruktur. Struktur balok berfungsi sebagai sebagai tempat rel *shiploader* dan balok menumpu pada poer. Struktur poer berfungsi sebagai penyambung antar ujung tiang pancang dan sebagai penerus beban pada balok ke perletakan. *Loading platform* berfungsi sebagai tempat rel *shiploader* yang digunakan dalam proses muat, sehingga diperlukan konfigurasi yang sesuai supaya menghasilkan kinerja maksimal dan hemat.

Dalam tugas akhir ini balok direncanakan dengan konfigurasi sebagai berikut:

- Jenis poer : Poer ganda dengan 2 tiang
- Geometri balok : kotak dengan dimensi $0.6 \times 0.9 \text{ m}^2$

b. Pembebanan

Beban yang terjadi pada *loading platform* adalah:

• Vertikal

- Beban Mati

$$\text{Berat balok} = 0.6 \times 0.9 \times 2,9 = 1,568 \text{ ton}$$

$$\text{Berat radial shiploader} = 15 \text{ ton}$$

- Beban Hidup

$$\text{Beban pangkalan} = 3 \text{ ton}$$

$$\text{Beban hujan} = 0,05 \text{ ton}$$

Beban hidup urea = 1 ton

- Horizontal

- Beban Gempa

Untuk perhitungan gaya gempa, pada program SAP 2000 menggunakan respon spektrum zona 2, sehingga beban gempa yang terjadi akan dihitung pada program tersebut.

Mengitung Periode Getar Bangunan

$$T = 0.06 \cdot H^{\frac{3}{4}}$$

Tinggi Struktur (H) = Zf + e

Perhitungan letak titik jepit tanah terhadap tiang untuk tanah normally consolidated clay and granular soil, Zf = 1.8T dimana:

$$T = \left(\frac{E \cdot I}{nh} \right)^{\frac{1}{5}}$$

E = 2100000 kg/cm²

I = 318000 cm⁴

nh = Nilai nh diambil sebesar nh 150 kNm⁻³ untuk tanah lanau-lempung

$$T = \left(\frac{2100000 \cdot 318000}{0.015} \right)^{\frac{1}{5}} = 536,67 \text{ cm} = 5,37 \text{ m}$$

$$Zf = 1.8 \times 5.37 = 9.66 \text{ m}$$

e = Elevasi bangunan + kedalaman perairan

$$= 3.2 + 10.0 = 13.2 \text{ m}$$

Maka;

$$H = Zf + e = 9.66 + 13.2 = 22.9 = 23 \text{ m}$$

2. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang dipakai dalam loading platform adalah:

Kombinasi pembebanan yang dipakai dalam analisis struktur adalah sebagai berikut:

- DL + LL
- DL + 0.5 LL + FX + 0.3 FY
- DL + 0.5 LL + FY + 0.3 FX

Dimana:

DL = beban mati dan berat sendiri

LL = beban hidup merata

Fx = beban gempa arah-X

Fy = beban gempa arah-Y

3. Rekap Hasil Output SAP

Tabel 6.4 Output SAP dalam Balok Loading Platform

Kombinasi	M tum (kgcm)	M lap (kgcm)	V max (kg)	T (kg)
envelope	3023964	12314666	81353.72	12510

Sumber : perhitungan

4. Penulangan Balok

Data Balok

$$\begin{aligned}
 l_o &= 600 \text{ cm} & ; D2 &= 1,6 \text{ cm} \\
 b_o &= 80 \text{ cm} & ; A1 &= 8.04 \text{ cm} \\
 h_t &= 120 \text{ cm} & ; A2 &= 2.01 \text{ cm} \\
 c &= 8 \text{ cm} & ; h &= h_t - c - D2 - 0.5D1 \\
 D1 &= 3.2 \text{ cm} & &= 90 - 8 - 1,6 - 0,5 \times 3.2 \\
 & & &= 78,8 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Dimana: D1 = diameter tulangan utama

D2 = diameter tulangan sengkang

Data Bahan

Beton

$$\sigma_{bk} = 350 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = 117 \text{ kg/cm}^2$$

Baja

$$\sigma_{au} = 2780 \text{ kg/cm}^2$$

$$; E_a = 2100000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 1850 \text{ kg/cm}^2$$

$$; E_b = 119733,04 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2100000}{119733,04} = 17,54$$

$$\phi_0 = \frac{\sigma'_a}{(n \times \sigma'_b)} = \frac{1850}{(17,54 \times 115,5)} = 0,913$$

a. Penulangan Tumpuan

$$M_{tump} = 3023964 \text{ kgcm}$$

$$\Phi_0 = 0,913$$

$$Ca = \frac{hx}{\sqrt{\left(\frac{n \times Mx}{b \times \sigma_a}\right)}} = \frac{78,8}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \times 3023964}{60 \times 1850}\right)}} = 5,74$$

Dengan nilai $\delta=0,4$ dan $Ca = 5,74$ dari tabel perhitungan cara "n" didapatkan

$$\Phi = 3,545 > \phi_0 \quad \text{OK}$$

$$100n\omega = 3,306$$

$$\text{Maka } \omega = 0,00514$$

- Luas Tulangan Tarik

$$As = \omega b h = 16,41 \text{ cm}^2$$

Dipakai 5D32 ($As = 40,21 \text{ cm}^2$)

- Luas Tulangan Tekan

$$As = \delta \times As = 12,87 \text{ cm}^2$$

Dipakai 3D32 ($As = 24,13 \text{ cm}^2$)

- Luas Tulangan Samping diambil 10% dari luas tulangan tarik (PBI 1971 9.3.5)

$$Asc = 10\% \times 32,27 = 3,227 \text{ cm}^2$$

Dipakai 3 ϕ 16 ($As = 6,028 \text{ cm}^2$)

- Jarak tulangan tarik

$$St = \frac{b - 2d - nD}{n - 1} = 9,015 \text{ cm}$$

b. Penulangan Lapangan

Mlap = 12314666 kgcm

 $\Phi_o = 0,913$

$$Ca = \frac{hx}{\sqrt{\left(\frac{n \times Mx}{b \times \sigma a}\right)}} = \frac{63,8}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \times 12314666}{60 \times 1850}\right)}} = 2,84$$

Dengan nilai $\delta = 0,4$ dan $Ca = 2,84$ dari tabel perhitungan cara “n” didapatkan

 $\Phi = 1,632 > \phi_o$ OK $100\omega = 14,21$ Maka $\omega = 0.014$

- Luas Tulangan Tarik

 $As = \omega b h = 70,52 \text{ cm}^2$ Dipakai 9D32 ($As = 72,38 \text{ cm}^2$)

- Luas Tulangan Tekan

 $As = \delta \times As = 28,95 \text{ cm}^2$ Dipakai 4D32 ($As = 32,17 \text{ cm}^2$)

- Luas Tulangan Samping diambil 10% dari luas tulangan tarik (PBI 1971 9.3.5)

 $Asc = 10\% \times 72,38 = 7,238 \text{ cm}^2$ Dipakai 5 ϕ 16 (10,048)

- Jarak

$$St = \frac{b_b - 2d - nD}{n - 1} = 9,015 \text{ cm}$$

Tabel 6.5 Rekapitulasi Penulangan Balok Loading Platform

arah	Momen (kgcm)	Ca	$\phi_o = 0.913$		100 ω	ω	As perlu	As pakai	pasang
			ϕ	ket					
tumpuan	3023964	5.75	3.545	OK	3.306	0.0019	16.407	40.212	4D32
lapangan	12314666	2.85	1.632	OK	14.21	0.0081	70.519	72.382	9D32

Sumber: hasil perhitungan**5. Kontrol**

a. Kontrol Retak

Berdasarkan PBI 1971 pasal 10.7.1b retak yang diijinkan 0,01 cm. Dengan menggunakan Tabel 10.7.1 PBI 1971 maka didapatkan:

Koefisien – koefisien ω_p , C_3 , C_4 dan C_5 harus diambil dari tabel Tabel 10.7.1, PBI 1971 didapat

$$\omega_p = \frac{A}{Bh} = \frac{723822,95}{800 \times 12000} = 0,00832$$

Untuk balok persegi dengan $c = 8$ cm, didapatkan koefisien $C_3 = 1,5$; $C_4 = 0,04$ dan $C_5 = 7,5$

Maka lebar retak yang terjadi akibat pembebanan tetap akibat beban kerja dihitung dengan rumus :

$$w = \alpha \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) 10^{-6} \quad (cm)$$

$$w = 1 \left(1,5 \cdot 8 + 0,04 \cdot \frac{3,2}{0,00832} \right) \left(1850 - \frac{7,5}{0,00832} \right) 10^{-6} \quad (cm)$$

$$w = 0,00584 \text{ cm} < 0,01 \text{ cm (OK)}$$

nilai – menunjukkan bahwa struktur kuat dan tidak mengalami retak.

b. Kontrol dimensi balok

$$D = 81353,72 \text{ kg}$$

$$M \text{ puntir} = 12510,49 \text{ kgcm}$$

$$\tau b = \frac{D}{b \times \frac{7}{8} \times h} = \frac{63425,97}{80 \times \frac{7}{8} \times 120} = 10,68 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Psi = 3 + \frac{2,6}{0,45 + \frac{120}{80}} = 4,33$$

$$\tau ib = \frac{\Psi \times M_{puntir}}{b^2 \times h} = \frac{4,33 \times 12510,49}{80^2 \times 120} = 0,070 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{bt} + \tau_{ib} = 10,75 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_m = 1,62 \sqrt{350} = 30,31 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{bt} + \tau_{ib} < \tau_m \text{ (ukuran balok memenuhi syarat)}$$

c. Penulangan Geser

Tegangan beton yang diijinkan berdasarkan PBI 1971 tabel 10.4 untuk pembebanan tetap

$$\tau_{bt} = 1,35 \sqrt{\sigma_{bk}}$$

$$\tau_{bt} = 25,256$$

Untuk pembebanan sementara

$$\tau_{bt} = 2,12 \sqrt{\sigma'_{bk}}$$

$$\tau_{bt} = 39,66 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_b < \tau_{bt} \text{ (OK)}$$

$$\tau_b < \tau_{bm} \text{ (OK)}$$

Sengkang pada tumpuan

$$D = 81353,72 \text{ kg}$$

Diameter sengkang

$$A_s = 4,02 \text{ cm}^2$$

$$a_s < \frac{A_s \times \sigma_a}{\tau_b \times b} = \frac{4,02 \times 1850}{15,33 \times 60} = 8,084 \text{ cm}$$

dipasang tulangan 6 buah tulangan D16-100

$$(A_s = 24,12 \text{ cm}^2)$$

Sengkang pada daerah > 1,2 m dari tumpuan

$$D = 33246,69 \text{ kg}$$

Diameter sengkang

$$A_s = 4,02 \text{ cm}^2$$

$$\tau_b = \frac{D}{b \times \frac{7}{8} \times h} = \frac{33246,69}{60 \times \frac{7}{8} \times 90} = 8,036 \text{ kg/cm}^2$$

$$as < \frac{As \times \sigma_a}{\tau_b \times b} = \frac{4,02 \times 1850}{8,036 \times 60} = 15,42 \text{ cm}$$

dipasang tulangan 5 buah tulangan D16-120
($As=24,12\text{cm}^2$)

d. Panjang tulangan penyaluran

Untuk tulangan tarik diambil nilai terbesar dari persamaan berikut:

$$Ld = 0,09 \times \frac{d \times \sigma_{au}}{\sqrt{\sigma'_{bk}}} \quad \text{PBI 171 pasal 8.7}$$

$$Ld = 107,52 \text{ cm}$$

dan

$$Ld = 0,005 \times d \times \sigma_{au}$$

$$Ld = 0,005 \times 3,2 \times 320 = 57,824 \text{ cm}$$

Dipakai jarak 108 cm

Untuk tulangan tekan diambil nilai terbesar dari persamaan berikut:

$$Ld = 0,09 \times \frac{d \times \sigma_{au}}{\sqrt{\sigma'_{bk}}} \quad \text{PBI 171 pasal 8.7}$$

$$Ld = 42,796 \text{ cm}$$

dan

$$Ld = 0,005 \times d \times \sigma_{au}$$

$$Ld = 0,005 \times 1,6 \times 320 = 44,48 \text{ cm}$$

Dipakai jarak 45 cm

6.4.3 Perhitungan *Substructure*

Data Tiang Pancang

$$D1 = 812.8 \text{ mm}$$

$$D2 = 780.8 \text{ mm}$$

$$t = 16 \text{ mm}$$

$$A = 400.5 \text{ cm}^2$$

$$I = 318000 \text{ cm}^4$$

$$W = 7820 \text{ cm}^3$$

$$r = 28.2 \text{ cm}$$

$$f_u = 5000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{ijin} = 2100 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 2100000 \text{ kg/cm}^2$$

1. Kontrol Kebutuhan Kedalaman

Pada perencanaan struktur loading platform, tiang pancang direncanakan dengan kemiringan 10:1. Rekap gaya dalam yang terjadi pada tiang dapat di lihat pada **Tabel 6.6** di bawah ini

Tabel 6.6 Output Gaya dalam Tiang Pancang Loading Platform

Beban	Kombinasi	Besar
P (tekan)	envelope	86.5767 ton
P(tarik)	envelope	0 ton
V	envelope	292.67 ton
M	envelope	3.67206 tm
U	envelope	0.0031 m

Sumber: perhitungan

Hasil dari perhitungan SAP 2000 didapatkan hasil maksimum dari kombinasi beban, dengan menggunakan SF = 3, maka bisa dicari untuk kedalaman tiang yang diperlukan:

Tiang tekan

$$Q = 3 \times 86,58 = 259,73 \text{ ton}$$

Kedalaman = 21 m

Kedalaman tiang yang dibutuhkan untuk memikul tiang tekan adalah sedalam 21 mLWS. Dikarenakan pada hasil output SAP tidak ada gaya tarik, maka tiang pancang yang ada merupakan tiang tekan. Kebutuhan kedalaman tiang pancang dapat dilihat pada **Gambar 6.5**.

2. Kontrol Korosi

Korosi tiang diasumsikan terjadi sampai tiang ditumbuhi karang yaitu selama 10 tahun. Metode perawatan digunakan dengan menyediakan alokasi tebal tiang yang akan terkorosi yaitu setebal 3mm. sesuai dengan aturan OCDI kecepatan korosi adalah 0.3 mm/tahun, sehingga

$$\text{Diameter rencana} = 812.8 - 2 \times 3 = 806.8$$

$$\text{Diameter dalam} = 780.8 + 2 \times 3 = 786.8$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang (A)} &= 0.25 \pi (D1^2 - D2^2) \\ &= 0.25 \pi (806.8^2 - 786.8^2) \\ &= 39729.79 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

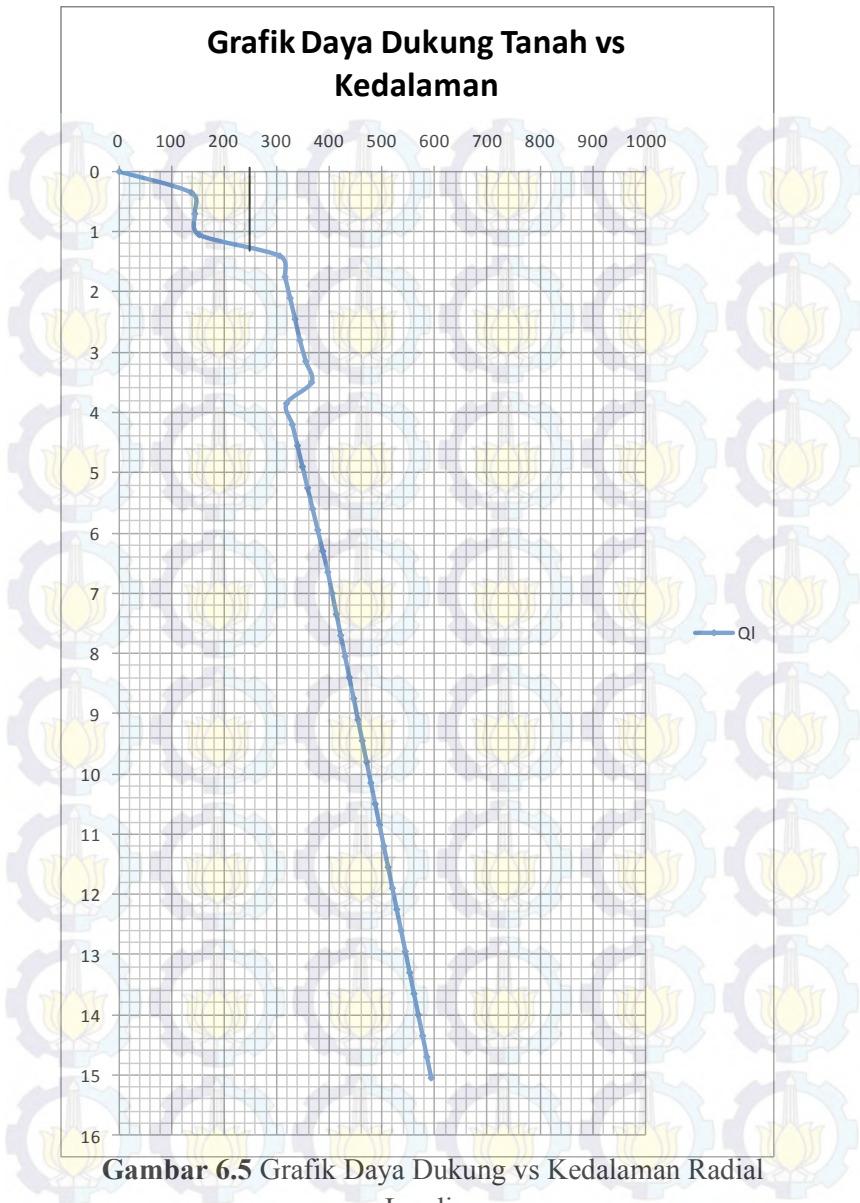
$$\begin{aligned} \text{Momen Inersia (I)} &= 1/64 \pi (D1^4 - D2^4) \\ &= 1/64 \pi (806.8^4 - 786.8^4) \\ &= 1985893876 \text{ mm}^4 = 198589.39 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{Section modulus (W)} = I/r = 198589.39 / 28.2 = 7042.18 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{ijin} \text{ (BJ 52)} = 2100 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} M_{ijin} &= \sigma_{ijin} \times W \\ &= 2100 \times 7042.18 \\ &= 14788571.42 \text{ kgcm} = 147.89 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$M_{ijin} > Mu \text{ (2,4062 tm) (OK)}$$



Sumber : sumber perhitungan

3. Kalendering

Perumusan kalendering yang dipakai adalah *Alfred Hiley*

Formula

$$Q_u = \frac{\alpha \cdot W \cdot H}{S + 0,5 \cdot C} \times \frac{W + n^2 \cdot W_p}{W + W_p}$$

Karena perhitungan dilakukan sebelum pemancangan, maka yang dihitung adalah nilai S atau penetrasi/blow, yaitu pengamatan yang dilakukan rata-rata di tiga set terakhir, dengan 10 pukulan tiap setnya. Dan disyaratkan apabila untuk kedalaman yang sama $S > S'$, maka pemancangan dihentikan.

Dimana :

S = nilai penetrasi / blow rencana dari perhitungan

S' = nilai penetrasi / blow saat pemancangan

Kalendering tiang pancang

$$Q_u = 3 \times P = 3 \times 70,37 = 211,11 \text{ ton}$$

$$W = 10 \text{ ton (hydraulic hammer)}$$

$$H_{\text{tiang}} = 2 \text{ m}$$

$$C1 = 5 \text{ mm (untuk hard cushion + packing)}$$

$$C2 = 10 \text{ mm (Steel Pile)}$$

$$C3 = 4 \text{ (soft ground)}$$

$$C = c1 + c2 + c3 = 19 \text{ mm}$$

$$W_{\text{tiang}} = \omega \times l = 0,314 \times (21^2 + 2,1^2)^{0,5} = 7,005 \text{ ton}$$

$$\alpha = 2,5 \text{ (hydraulic hammer)}$$

$$n = 0,32 \text{ (untuk compact wood cushion on steel pile)}$$

Maka

$$72,66 = \frac{2,5 \cdot 10 \cdot 2}{S + 0,5 \cdot 0,019} \times \frac{10 + 0,32^2 \cdot 7,005}{10 + 7,005}$$

$$S = 0,014 \text{ m} = 14 \text{ mm}$$

Jadi setting kalendering yang digunakan untuk tiang pancang adalah 14 mm

4. Kontrol Kuat Tekuk

Tiang pancang tegak

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{(Z_f + e)^2}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 2100000 \cdot 198589.39}{(709,8 + 1400)^2} = 9236787966 \text{ kg} = 9236788 \text{ ton}$$

$P_{cr} > P_u$ (70,37 ton) (OK)

5. Kontrol Gaya Horizontal

Beban yang dipikul oleh tiang pancang tidak hanya beban vertikal tetapi juga beban horizontal. Oleh karena itu perlu dilakukan pengecekan ketahanan tiang pancang terhadap beban horizontal. Gaya horizontal yang terjadi (hasil SAP 2000) harus lebih kecil dari gaya horizontal yang mampu dipikul bahan (H_u).

Perhitungan daya dukung tiang terhadap beban lateral menggunakan cara Tomlinson dalam "*Daya Dukung Pondasi Dalam* oleh Dr. Ir. Herman Wahjudi hal 55" :

$$H_u = \frac{2Mu}{e + Z_f} = \frac{2 \times 2,4064}{7,098 + 14} = 14,018 \text{ ton}$$

$H_{\max} = V = 0,3903 \text{ ton}$ (OK)

6. Kontrol Tegangan

Tegangan yang terjadi akibat beban aksial (P) dan momen (M) pada tiang yang didapat dari analisa SAP 2000 harus lebih kecil dari tegangan ijin tiang pancang (f_y). Tegangan pada tiang pancang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P = 86576,66 \text{ kg}$$

$$M = 367206 \text{ kgcm}$$

$$A = 250,1952 \text{ cm}^2$$

$$W = 7042,176866 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{max} = \frac{P}{A} + \frac{M}{W} = \frac{86576,66}{250,1952} + \frac{367206}{7042,176866} \\ = 398,18 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Sigma_{ijin} = 2100 \text{ kg/cm}^2 > 398,18 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}$$

7. Kontrol Posisi Tiang Pancang Miring

Diketahui:

Panjang tiang : 21 m

Kemiringan tiang : 14:1

Jarak horizontal : $21/14 = 1.5 \text{ m}$

Jarak antar tiang 1.5 m

Jadi ujung bawah tidak saling berbenturan (aman)

8. Kontrol Tiang Berdiri Sendiri

$$\omega t = 1,73 \sqrt{\frac{EI}{wl^3/g}}$$

$$l = (21^2 + 1.5^2)^{0.5}$$

$$= 21,053 \text{ m} = 2153 \text{ cm}$$

$$w = 0.216 \times 21,53 = 2,65 \text{ ton}$$

$$= 2650 \text{ kg}$$

$$g = 980 \text{ cm/s}^2$$

$$\omega t = 1,73 \sqrt{\frac{2100000 \times 318000}{2650 \times 2153^3/980}} = 8,6 \text{ s}^{-1}$$

agar tiang dapat berdiri sendiri maka frekuensi tiang (ωt) harus lebih besar dari frekuensi gelombang (ω).

$$\omega = \frac{1}{6} = 0.17 \text{ s}^{-1}$$

Karena frekuensi tiang (ωt) lebih besar dari frekuensi gelombang (ω), maka tiang aman untuk berdiri sendiri saat pelaksanaan pekerjaan.

6.4.4 Perhitungan Poer Ganda

Data Poer

$$\begin{array}{llll} h = 60 & \text{cm} & ; d = 8 & \text{cm} \\ b_x = 200 & \text{cm} & ; D = 3.2 & \text{cm} \\ b_y = 250 & \text{cm} & ; A_s = 8.04 & \text{cm} \end{array}$$

Data Bahan

Beton

$$\sigma_{bk} = 350 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = 117 \text{ kg/cm}^2$$

Baja

$$\sigma_{au} = 2780 \text{ kg/cm}^2 ; E_a = 2100000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 1850 \text{ kg/cm}^2 ; E_b = 119733,04 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2100000}{119733,04} = 17,54$$

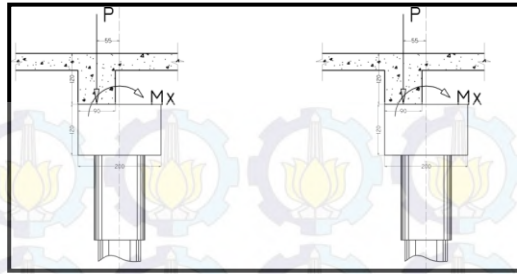
$$\phi_0 = \frac{\sigma' a}{(n \times \sigma' b)} = \frac{1850}{(17,54 \times 115,5)} = 0,913$$

Perhitungan Tinggi Manfaat

$$h_x = h - d - 0.5D = 50,4 \text{ cm}$$

$$h_y = h - d - D - 0.5D = 47,2 \text{ cm}$$

Dari perhitungan program SAP 2000 didapat gaya yang bekerja pada poer, kemudian dengan asumsi pelaksanaan yang sulit maka direncanakan terjadi eksentrisitas pada poer seperti terlihat pada **gambar 6.7**.



Gambar 6.6 Eksentrisitas Tiang Pancang pada Radial Loading

Data gaya yang terjadi pada poer

$$P = 81,353 \text{ ton}$$

$$M = 30,24 \text{ tm}$$

$$e_x = (b - b_{\text{balok}})/2 = 0,6 \text{ m}$$

$$e_y = (b - b_{\text{balok}})/2 = 0,85 \text{ m}$$

$$M_x = P \times e_x + M = 79,05 \text{ tm}$$

$$M_y = P \times e_y + M = 99,39 \text{ tm}$$

a. Penulangan Arah X

$$M_x = 79,052 \text{ tm}$$

$$\Phi_o = 0,913$$

$$Ca = \frac{h_x}{50,4} = \frac{50,4}{\sqrt{\left(\frac{n \times M_x}{b \times \sigma_a}\right)}} = \frac{50,4}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \times 79,052}{100 \times 1850}\right)}} = 2,604$$

Dengan nilai $\delta=0$ dan $Ca = 2,604$ dari tabel perhitungan cara “n” didapatkan

$$\Phi = 1,315 > \phi_o \text{ OK}$$

$$100n\omega = 16,43$$

$$\text{Maka } \omega = 0,00937$$

- Luas Tulangan Tarik

$$As = \omega b h = 0,00937 \times 60 \times 50,4 = 94,43 \text{ m}^2$$

Maka dipasang tulangan sejumlah 12, dengan D32-30 mm ($As = 96,46 \text{ m}^2$).

- Luas Tulangan Samping diambil 10% dari luas tulangan tarik (PBI 1971 9.3.5)

$$A_{sc} = 10\% \times 96,46 = 9,646 \text{ m}^2$$

Dipakai 5 ϕ 16 ($A_s = 10,048 \text{ m}^2$)

b. Penulangan Arah Y

$$M_y = 99,39 \text{ tm}$$

$$\Phi_o = 0,913$$

$$C_a = \frac{h x}{\sqrt{\left(\frac{n \times M x}{b \times \sigma a}\right)}} = \frac{47,2}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \times 99,39}{100 \times 1850}\right)}} = 2,54$$

Dengan nilai $\delta=0$ dan $C_a = 2,54$ dari tabel perhitungan cara “n” didapatkan

$$\Phi = 1,23 > \phi_o \text{ OK}$$

$$100n\omega = 18,290$$

$$\text{Maka } \omega = 0,0104$$

- Luas Tulangan Tarik

$$A_s = \omega b h = 0,0104 \times 60 \times 47,2 = 123,05 \text{ m}^2$$

Maka dipasang tulangan sejumlah 16, dengan D32- 54 mm ($A_s = 64,34 \text{ m}^2$)

- Luas Tulangan Samping diambil 10% dari luas tulangan tarik (PBI 1971 9.3.5)

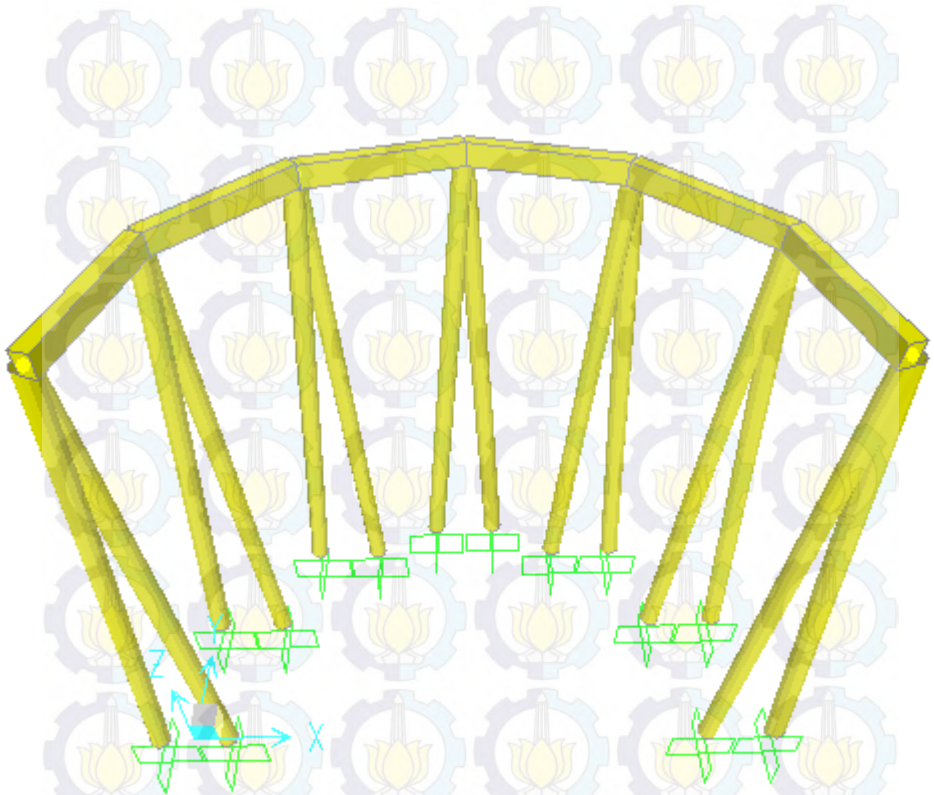
$$A_{sc} = 10\% \times 128,61 = 12,861 \text{ m}^2$$

Dipakai 8 ϕ 16 ($A_s = 16,077 \text{ m}^2$)

Tabel 6.7 Rekapitulasi Penulangan Poer Loading Platform

arah	Momen (kgcm)	Ca	$\Phi_o = 0.913$		100 ω	ω	As perlu	As pakai	pasang
			Φ	ket					
X	79.051872	2.6	1.315	OK	16.43	0.009	94.426	96.461	12D32
Y	99.390302	2.43	1.23	OK	18.290	0.01	123.05	128.61	16D32

Sumber : hasil perhitungan



Gambar 6.7 Struktur Radial Loading Platform

Sumber: hasil perhitungan

6.5 Breasting Dolphin

6.5.1 Umum

Breasting Dolphin adalah struktur yang berfungsi sebagai tempat kapal menabrak dermaga untuk pertama kalinya. Beban yang bekerja pada struktur ini adalah beban fender (tumbukan kapal) dan beban gempa.

6.5.2 Perhitungan Struktur

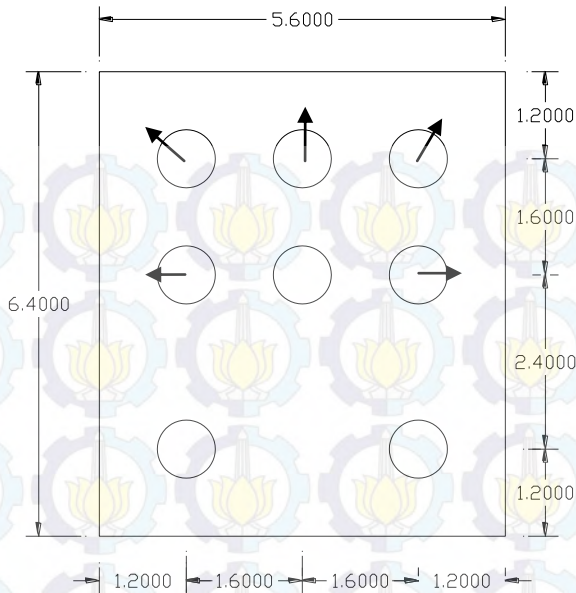
1. Pembebanan

a. Konfigurasi tiang pancang dan poer

Breasting dolphin terdiri dari poer pada strukturnya dan tiang pancang pada substruktur. Struktur poer berfungsi sebagai penyambung antar ujung tiang pancang, sehingga sekaligus berfungsi sebagai balok dan pelat. Breasting dolphin berfungsi sebagai tempat kapal pertama menumbuk dermaga, sehingga diperlukan konfigurasi yang sesuai supaya menghasilkan kinerja maksimal dan hemat.

Dalam tugas akhir ini breasting dolphin direncanakan dengan konfigurasi sebagai berikut:

- Jenis poer : Poer ganda dengan 5 tiang
- Geometri : kotak dengan dimensi $5,6 \times 6,4 \text{ m}^2$
- Tebal : 1.2 m



Gambar 6.8 Konfigurasi Tiang Pancang

Sumber: hasil perhitungan

b. Pembebanan

Beban yang terjadi pada breasting dolphin adalah:

- Vertikal

- Beban Mati

Berat sendiri = 124,7232 ton

Berat catwalk = 52 ton

Berat fender = 0,841 ton

- Beban Hidup

Beban hujan = 0,05 ton/m²

Beban pangkalan = 0,5 ton/m²

- Beban hanging kapal (akibat fender)

untuk kapal dengan bobot mencapai 30000 DWT besar gaya *ship hanging* sebesar 25 kN/m (*Port Designer's Handbook, Thoresen*), sehingga gaya nya sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Beban Up/Down} &= 25 \text{ kN/m} \times 5,6 \text{ m} \\ &= 140 \text{ kN} = 14 \text{ ton} \end{aligned}$$

- Horizontal

- Beban tumbuk kapal = 52,7 ton (subbab boulder)
- Beban gesek kapal = $P \times \mu$
Dimana μ koefisien gesek kapal dengan fender, maka
= 52,7 ton x 0.6 (rubber to steel)
= 32.4 ton
- Beban Gempa
Untuk perhitungan gaya gempa, pada program SAP 2000 menggunakan respon spektrum zona 2, sehingga beban gempa yang terjadi akan dihitung pada program tersebut

Mengitung Periode Getar Bangunan

$$T = 0.06 \cdot H^{\frac{3}{4}}$$

Tinggi Struktur (H) = $Z_f + e$

Perhitungan letak titik jepit tanah terhadap tiang untuk tanah normally consolidated clay and granular soil, $Z_f = 1.8T$ dimana:

$$T = \left(\frac{E \cdot I}{nh} \right)^{\frac{1}{5}}$$

$$E = 2100000 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = 318000 \text{ cm}^4$$

nh = Nilai nh diambil sebesar nh 150 kNm^{-3} untuk tanah lanau-lempung

$$T = \left(\frac{2100000 \cdot 318000}{0.015} \right)^{\frac{1}{5}} = 536,67 \text{ cm} = 5,37 \text{ m}$$

$$Z_f = 1.8 \times 5.37 = 9.66 \text{ m}$$

e = Elevasi bangunan + kedalaman perairan

$$= 4 + 11.0 = 15.0 \text{ m}$$

Maka;

$$H = Z_f + e = 9,66 + 15,0 = 24,66 = 25 \text{ m}$$

2. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang dipakai dalam Breasting dolphin adalah:

- DL + LL
- DL + LL + F
- DL + LL + h
- DL + 0.5 LL + F_x + 0.3 F_y
- DL + 0.5 LL + 0.3 F_x + F_y

Dimana:

DL = beban mati dan berat sendiri struktur

LL = beban hidup merata pada struktur

F = beban reaksi fender

h = beban tarik hanging kapal

F_x = beban gempa arah X

F_y = beban gempa arah Y

3. Penulangan Poer

Data Poer

p = 5,6 m	; d = 8 cm
l = 6,4 m	; D = 3.2 cm
h = 1.2 m	; As = 8.04 cm

Data Bahan

Beton

$$\sigma_{bk} = 350 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = 117 \text{ kg/cm}^2$$

Baja

$$\sigma_{au} = 2780 \text{ kg/cm}^2 ; E_a = 2100000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 1850 \text{ kg/cm}^2 ; E_b = 119733,04 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = \frac{Ea}{Eb} = \frac{2100000}{119733,04} = 17,54$$

$$\phi_o = \frac{\sigma'a}{(n \times \sigma'b)} = \frac{1850}{(17,54 \times 115,5)} = 0,913$$

Perhitungan Tinggi Manfaat

$$hx = h - d - 0.5D = 110,4 \text{ cm}$$

$$hy = h - d - D - 0.5D = 107,2 \text{ cm}$$

Data gaya yang terjadi pada poer

a. Penulangan Arah X

$$M_x = 165,382 \text{ tm}$$

$$\Phi_o = 0,913$$

$$Ca = \frac{hx}{\sqrt{\left(\frac{n \times Mx}{b \times \sigma a}\right)}} = \frac{110,4}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \times 165382}{100 \times 1850}\right)}} = 2,788$$

Dengan nilai $\delta=0$ dan $Ca = 2,778$ dari tabel perhitungan cara “n” didapatkan

$$\Phi = 1,392 > \phi_o \quad \text{OK}$$

$$100n\omega = 15,01$$

$$\text{Maka } \omega = 0,008558$$

- Luas Tulangan Tarik

$$As = \omega b h = 94,48 \text{ cm}^2$$

Maka dipasang tulangan sejumlah 12, dengan D32-330 mm ($As = 96,46 \text{ cm}^2$)

- Luas Tulangan Samping diambil 10% dari luas tulangan tarik (PBI 1971 9.3.5)

$$Asc = 10\% \times 96,46 = 9,646 \text{ cm}^2$$

$$\text{Dipakai } 5\phi 16 (As = 10,048 \text{ cm}^2)$$

b. Penulangan Arah Y

$$M_y = 165,382 \text{ tm}$$

$$\Phi_o = 0,913$$

$$Ca = \frac{hx}{\sqrt{\left(\frac{n \times Mx}{b \times \sigma a}\right)}} = \frac{107,2}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \times 165382}{100 \times 1850}\right)}} = 2,708$$

Dengan nilai $\delta=0$ dan $Ca = 2,708$ dari tabel perhitungan cara “n” didapatkan

$$\Phi = 1,374 > \phi_o \quad \text{OK}$$

$$100n\omega = 15,81$$

$$\text{Maka } \omega = 0.009014$$

- Luas Tulangan Tarik

$$As = \omega b h = 96,632$$

Maka dipasang tulangan sejumlah 13, dengan D32-366 mm ($As = 104,499 \text{ cm}^2$)

- Luas Tulangan Samping diambil 10% dari luas tulangan tarik (PBI 1971 9.3.5)

$$Asc = 10\% \times 104,499 = 10,4499 \text{ cm}^2$$

$$\text{Dipakai } 6\phi 16 (As = 12,0576 \text{ cm}^2)$$

Tabel 6.8 Rekapitulasi Penulangan Poer Mooring Dolphin

arah	Momen (tm)	Ca	$\phi 0 = 0.913$		100 ω	ω	As perlu	As pakai	pasang
			ϕ	ket					
X	165.382	2.788099	1.392	OK	15.01	0.009	94.481	96.4608	12D32
Y	165.382	2.707284	1.347	OK	15.81	0.009	96.632	104.499	13D32

Sumber: hasil perhitungan

4. Kontrol

a. Kontrol Retak

Berdasarkan PBI 1971 pasal 10.7.1b retak yang diijinkan 0,01 cm. Dengan menggunakan Tabel 10.7.1 PBI 1971 maka didapatkan:

Koefisien – koefisien ω_p , C_3 , C_4 dan C_5 harus diambil dari tabel Tabel 10.7.1, PBI 1971 didapat

$$\omega_p = \frac{A}{Bh} = \frac{10449,9}{5600 \times 1200} = 0,00167$$

Untuk balok persegi dengan $c = 8$ cm, didapatkan koefisien $C_3 = 1,5$; $C_4 = 0,04$ dan $C_5 = 7,5$

Maka lebar retak yang terjadi akibat pembebanan tetap akibat beban kerja dihitung dengan rumus :

$$w = \alpha \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) 10^{-6} \quad (cm)$$

$$w = 1 \left(1,5 \cdot 8 + 0,04 \cdot \frac{3,2}{0,0167} \right) \left(1850 - \frac{7,5}{0,0167} \right) 10^{-6} \quad (cm)$$

$$w = -0,2 \text{ cm} < 0,01 \text{ cm (OK)}$$

b. Kontrol Geser Pons

Pada mooring dolphin kontrol geser pons perlu dikontrol karena pada struktur ini tidak ada balok, tiang pancang langsung menumpu pada pelat sehingga kemungkinan besar terjadi plong pada plat atau poer. Tegangan geser pons ditentukan oleh rumus:

$$\tau_{bp} = \frac{P}{\pi \cdot (c + ht) \cdot ht} \leq \tau_{bm} \quad (\text{PBI 71 11.9.(2)})$$

Dimana:

P = gaya aksial pelat dari tiang pancang

c = diameter tiang pancang

ht = tinggi total pelat atau poer

τ_{bm} = tegangan ijin beton ($0.65\sqrt{\sigma'_{bk}}$)

Sehingga:

$$\tau_{bp} = \frac{153274,05}{\pi \cdot (81.28 + 120) \cdot 120} \leq 0.65\sqrt{350}$$

$$\tau_{bp} = 2,02 \text{ kg/cm}^2 \leq 12 \text{ kg/cm}^2$$

Karena geser pons yang terjadi lebih kecil dari tegangan ijin beton, maka poer dikatakan aman dari gaya pons atau keruntuhan akibat pons.

6.5.3 Perhitungan Substruktur

Data Tiang Pancang

D1	= 812.8 mm	W	= 7820 cm ³
D2	= 780.8 mm	r	= 28.2 cm
t	= 16 mm	f _u	= 5000 kg/cm ²
A	= 400.5 cm ²	σ _{ijin}	= 2100 kg/cm ²
I	= 318000 cm ⁴	E	= 2100000 kg/cm ²

1. Kontrol Kebutuhan Kedalaman

Pada perencanaan struktur breasting tiang pancang direncanakan dengan kemiringan 10:1. Rekap gaya dalam yang terjadi pada tiang dapat di lihat pada **tabel 6.** di bawah ini

Tabel 6.9 Output Gaya Dalam Tiang Pancang Breasting Dolphin

Beban	Kombinasi	Besar
P (tekan)	envelope	153.3 ton
P(tarik)	envelope	72.8 ton
V	envelope	3.868 ton
M	envelope	49.83 tm
U	envelope	0.002 m

Sumber: perhitungan

Tiang tekan

$$Q = 3 \times 153,2741 = 459,822 \text{ ton}$$

Kedalaman 24 m

Tiang tarik

$$Q = 3 \times 72,80483 = 218,41449 \text{ ton}$$

Kedalaman 24,6 m

Kedalaman tiang yang dibutuhkan untuk memikul tiang tekan adalah sedalam 24 mLWS, sedangkan untuk tiang tarik butuh kedalaman 24,6 mLWS. Kebutuhan kedalaman tiang pancang dapat dilihat pada gambar 6.32.

2. Kontrol Korosi

Korosi tiang diasumsikan terjadi sampai tiang ditumbuhi karang yaitu selama 10 tahun. Metode perawatan digunakan dengan menyediakan alokasi tebal tiang yang akan terkorosi yaitu setebal 3mm. sesuai dengan aturan OCDI kecepatan korosi adalah 0.3 mm/tahun, sehingga

$$\text{Diameter rencana} = 812.8 - 2 \times 3 = 806.8$$

$$\text{Diameter dalam} = 780.8 + 2 \times 3 = 786.8$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang (A)} &= 0.25 \pi (D1^2 - D2^2) \\ &= 0.25 \pi (806.8^2 - 786.8^2) \\ &= 39729.79 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

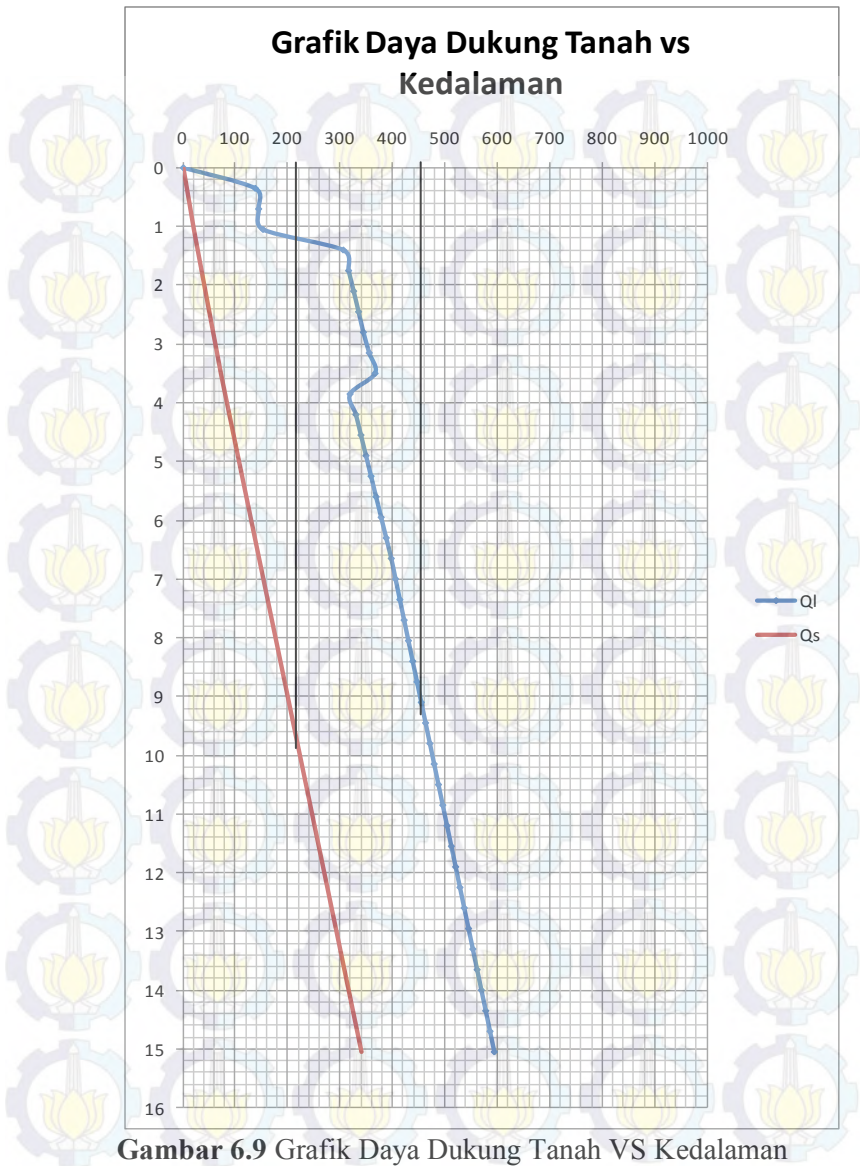
$$\begin{aligned} \text{Momen Inersia (I)} &= 1/64 \pi (D1^4 - D2^4) \\ &= 1/64 \pi (806.8^4 - 786.8^4) \\ &= 1985893876 \text{ mm}^4 = 198589.39 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{Section moduluds (W)} = I/r = 198589.39 / 28.2 = 7042.18 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{ijin} \text{ (BJ 52)} = 2100 \text{ kg/ cm}^2$$

$$\begin{aligned} M_{ijin} &= \sigma_{ijin} \times W \\ &= 2100 \times 7042.18 \\ &= 14788571.42 \text{ kgcm} = 147.89 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$M_{ijin} > M_u (49,835 \text{ tm}) \dots\dots (\text{OK})$$



Gambar 6.9 Grafik Daya Dukung Tanah VS Kedalaman Breasting Dolphin

Sumber: perhitungan**3. Kalendering**

Perumusan kalendering yang dipakai adalah *Alfred Hiley*

Formula

$$Q_u = \frac{\alpha \cdot W \cdot H}{S + 0,5 \cdot C} \times \frac{W + n^2 \cdot W_p}{W + W_p}$$

Karena perhitungan dilakukan sebelum pemancangan, maka yang dihitung adalah nilai S atau penetrasi/blow, yaitu pengamatan yang dilakukan rata-rata di tiga set terakhir, dengan 10 pukulan tiap setnya. Dan disyaratkan apabila untuk kedalaman yang sama $S > S'$, maka pemancangan dihentikan.

Dimana :

S = nilai penetrasi / blow rencana dari perhitungan

S' = nilai penetrasi / blow saat pemancangan

Kalendering tiang pancang tegak

$$Q_u = 3 \times P = 3 \times 153,2741 = 459,822 \text{ ton}$$

$$W = 10 \text{ ton (hydrolic hammer)}$$

$$H_{\text{tiang}} = 2 \text{ m}$$

$$C1 = 5 \text{ mm (untuk hard cushion + packing)}$$

$$C2 = 10 \text{ mm (Steel Pile)}$$

$$C3 = 4 \text{ (soft ground)}$$

$$C = c1 + c2 + c3 = 19 \text{ mm}$$

$$W_{\text{tiang}} = \omega \times l = 0,314 \times 24$$

$$= 7,536 \text{ ton}$$

$$\alpha = 2,5 \text{ (hydrolic hammer)}$$

$$n = 0,32 \text{ (untuk compact wood cushion on steel pile)}$$

Maka

$$459,822 = \frac{2,5 \cdot 10 \cdot 2}{S + 0,5 \cdot 0,019} \times \frac{10 + 0,32^2 \cdot 7,536}{10 + 7,536}$$

$$S = 0,057 \text{ m} = 57 \text{ mm}$$

Jadi setting kalendering yang digunakan untuk tiang pancang adalah 5,7 cm

Kalendering tiang pancang miring

$$Q_u = 3 \times P = 3 \times 153,2741 = 459,822 \text{ ton}$$

$$W = 10 \text{ ton (hydraulic hammer)}$$

$$H_{\text{tiang}} = 2 \text{ m}$$

$$C1 = 5 \text{ mm (untuk hard cushion + packing)}$$

$$C2 = 10 \text{ mm (Steel Pile)}$$

$$C3 = 4 \text{ (soft ground)}$$

$$C = c1 + c2 + c3 = 19 \text{ mm}$$

$$W_{\text{tiang}} = \omega \times l = 0,314 \times (24^2 + 2.4^2) \\ = 7,57 \text{ ton}$$

$$\alpha = 2.5 \text{ (hydraulic hammer)}$$

$$n = 0,32 \text{ (untuk compact wood cushion on steel pile)}$$

Maka

$$316,4508 = \frac{2.5 \cdot 10 \cdot 2}{S + 0,5 \cdot 0.019} \times \frac{10 + 0.32^2 \cdot 7,57}{10 + 7,57}$$

$$S = 0.057 \text{ m} = 57 \text{ mm}$$

Jadi setting kalendering yang digunakan untuk tiang pancang adalah 57 mm

4. Kontrol Kuat Tekuk

Kontrol kuat tekuk pada tiang pancang tegak dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{(Z_f + e)^2}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 2100000 \cdot 198589.39}{(709 + 110)^2} = 786822 \text{ kg} = 786.82 \text{ ton}$$

$$P_{cr} > P_u (153,2741 \text{ ton}) \dots\dots (\text{OK})$$

5. Kontrol Gaya Horizontal

Beban yang dipikul oleh tiang pancang tidak hanya beban vertikal tetapi juga beban horizontal. Oleh karena itu perlu dilakukan pengecekan ketahanan tiang pancang terhadap beban horizontal. Gaya horizontal yang terjadi (hasil SAP 2000) harus lebih kecil dari gaya horizontal yang mampu dipikul bahan (H_u).

Perhitungan daya dukung tiang terhadap beban lateral menggunakan cara Tomlinson dalam "Daya Dukung Pondasi Dalam" oleh Dr. Ir. Herman Wahjudi hal 55" :

$$H_u = \frac{2Mu}{e + Zf} = \frac{2 \times 147,886}{7,09 + 11} = 11,994 \text{ ton}$$

$$H_{\max} = V = 3,86756 \dots \dots \dots (\text{OK})$$

6. Kontrol Tegangan

Tegangan yang terjadi akibat beban aksial (P) dan momen (M) pada tiang yang didapat dari analisa SAP 2000 harus lebih kecil dari tegangan ijin tiang pancang (f_y). Tegangan pada tiang pancang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P = 153274,05 \text{ kg}$$

$$M = 4983491 \text{ kgcm}$$

$$A = 250,1925 \text{ cm}^2$$

$$W = 7042,1769 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{P}{A} + \frac{M}{W} = \frac{153274,05}{250,1925} + \frac{4983491}{7042,1769} \\ = 1320,281 \text{ kg/cm}^3$$

$$\Sigma_{\text{ijin}} = 2100 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan ijin > Tegangan maksimum

$$2100 \text{ kg/cm}^3 > 1320,281 \text{ kg/cm}^3 \dots \dots \dots (\text{OK})$$

7. Kontrol Berdiri Sendiri tiang pancang tegak

$$\omega t = 1,73 \sqrt{\frac{EI}{wl^3/g}}$$

$$l = 24 \text{ m}$$

$$w = 0.314 \times 24 = 7,536 \text{ ton}$$

$$= 7536 \text{ kg}$$

$$g = 980 \text{ cm/s}^2$$

$$\omega t = 1,73 \sqrt{\frac{2100000 \times 318000}{7536 \times 2400^3 / 980}} = 4,34 \text{ s}^{-1}$$

agar tiang dapat berdiri sendiri maka frekuensi tiang (ωt) harus lebih besar dari frekuensi gelombang (ω).

$$\omega = \frac{1}{6} = 0.17 \text{ s}^{-1}$$

Karena frekuensi tiang (ωt) lebih besar dari frekuensi gelombang (ω)., maka tiang aman untuk berdiri sendiri saat pelaksanaan pekerjaan.

Kontrol Berdiri Sendiri tiang pancang miring

$$\omega t = 1,73 \sqrt{\frac{EI}{wl^3/g}}$$

$$l = (24^2 + 2,4^2)^{0.5} = 24,12 \text{ m}$$

$$= 2412 \text{ cm}$$

$$w = 0.314 \times 2412 = 757,36 \text{ ton}$$

$$= 757360 \text{ kg}$$

$$g = 980 \text{ cm/s}^2$$

$$\omega t = 1,73 \sqrt{\frac{EI}{wl^3/g}} = 1,73 \sqrt{\frac{2100000 \times 318000}{757360 \times 2412^3 / 980}} = 0,43 \text{ s}^{-1}$$

agar tiang dapat berdiri sendiri maka frekuensi tiang (ωt) harus lebih besar dari frekuensi gelombang (ω).

$$\omega = \frac{1}{6} = 0.17s^{-1}$$

Karena frekuensi tiang (ωt) lebih besar dari frekuensi gelombang (ω)., maka tiang aman untuk berdiri sendiri saat pelaksanaan pekerjaan.

6.5.4 Perhitungan Plank Fender

Pada perencanaan Plank Fender ini, fender dihitung sebagai struktur kantilever yang mendapat gaya – gaya dari tumbukan kapal terhadap fender itu sendiri.

Data Plank Fender

$$h = 90 \text{ cm}$$

$$b = 250 \text{ cm}$$

$$d = 8 \text{ cm}$$

$$D1 = 3.2 \text{ cm} = 8.04 \text{ cm}^2$$

$$D2 = 1.6 \text{ cm} = 2.01 \text{ cm}^2$$

Data Bahan

Beton

$$\sigma_{bk} = 350 \text{ kg/cm}^2 \quad E_a = 2100000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = 117 \text{ kg/cm}^2 \quad E_b = 119733 \text{ kg/cm}^2$$

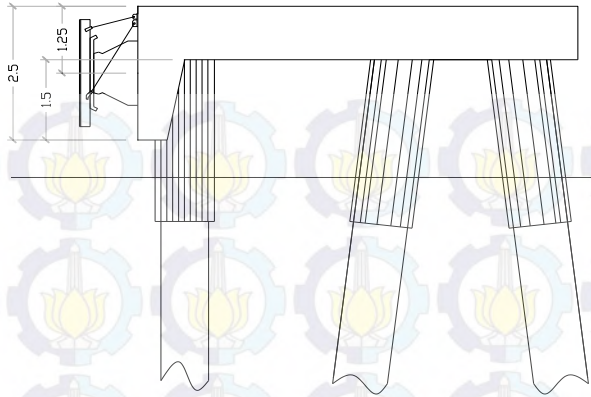
$$n = 17,54$$

Baja

$$\sigma_{au} = 2780 \text{ kg/cm}^2 \quad \phi_o = \frac{\sigma_a}{n \cdot \sigma_b} = \frac{1850}{17,54 \times 116,7} = 0,904$$

$$\sigma_a = 1850 \text{ kg/cm}^2$$

Gambar Plank Fender dapat dilihat pada **Gambar 6.10** di bawah ini.



Gambar 6.10 Tampak Samping Plank Fender

Perhitungan tinggi manfaat:

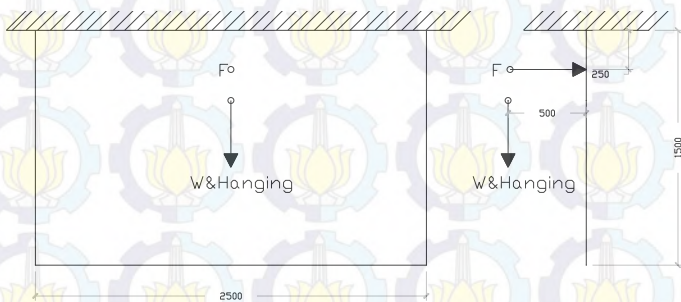
$$\begin{aligned}
 h_x &= h - d - 0.5 D \\
 &= 90 - 8 - 0.5 \times 3.2 \\
 &= 80.4 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Momen – momen yang terjadi pada plank fender:

- Akibat beban tumbuk kapal
 $M1 = P \times l$
 $= 52,7 \times 0.25 = 13.175 \text{ tm}$
- Akibat beban gesek kapal – fender
 $M2 = P \times \text{tinggi total fender}$
 $= 31,62 \times 1.44 = 45,5328 \text{ tm}$
- Akibat beban gesek kapal dengan fender
 $M2 = W \times h_{\text{fender}}/2$
 $= 0.841 \times 1,44/2 = 0.606 \text{ tm}$
- Akibat hanging kapal
 $M3 = \text{Hanging} \times \text{tinggi total fender}$
 $= 14 \times 1.441 = 20,174 \text{ tm}$

$$M_{\text{total}} = 79,49 \text{ tm}$$

Letak gaya dan titik beratnya dapat dilihat pada **Gambar 6.11** di bawah ini.



Gambar 6.11 Gaya-Gaya pada Plank Fender

a. Penulangan Arah X

$$M_x = 79,488 \text{ tm}$$

$$\Phi_o = 0,913$$

$$C_a = \frac{h x}{\sqrt{\left(\frac{n \times M_x}{b \times \sigma_a}\right)}} = \frac{80,4}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \times 79488}{100 \times 1850}\right)}} = 4,63$$

Dengan nilai $\delta=0$ dan $C_a = 4,63$ dari tabel perhitungan cara "n" didapatkan

$$\Phi = 2,663 > \phi_o \quad \text{OK}$$

$$100n\omega = 5,126$$

$$\text{Maka } \omega = 0,002923$$

- Luas Tulangan Tarik

$$A_s = \omega b h = 58,745 \text{ cm}^2$$

Maka dipasang tulangan sejumlah 8, dengan D32-110 mm ($A_s = 64,34 \text{ cm}^2$)

- Luas Tulangan Samping diambil 10% dari luas tulangan tarik (PBI 1971 9.3.5)

$$A_{sc} = 10\% \times 64,3 = 6,43 \text{ cm}^2$$

Dipakai 4D16 ($A_s = 8,04 \text{ m}^2$)

b. Penulangan Arah Y

$$M_y = 79,488 \text{ tm}$$

$$\Phi_o = 0,913$$

$$Ca = \frac{hx}{\sqrt{\left(\frac{n \times Mx}{b \times \sigma a}\right)}} = \frac{77,2}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \times 79488}{100 \times 1850}\right)}} = 4,444$$

Dengan nilai $\delta=0$ dan $Ca = 4,444$ dari tabel perhitungan cara “n” didapatkan

$$\Phi = 2,53 > \phi_o \quad \text{OK}$$

$$100n\omega = 5,585$$

$$\text{Maka } \omega = 0.003184$$

- Luas Tulangan Tarik

$$As = \omega b h = 61,46 \text{ cm}^2$$

Maka dipasang tulangan sejumlah 8, dengan D32-300 mm ($As = 64,34 \text{ cm}^2$)

- Luas Tulangan Samping diambil 10% dari luas tulangan tarik (PBI 1971 9.3.5)

$$Asc = 10\% \times 64,31 = 6,431 \text{ cm}^2$$

$$\text{Dipakai 4D16 } (As=8,0384 \text{ cm}^2)$$

Rencana tampak struktur Breasting Dolphin dapat dilihat pada **Gambar 6.12** dibawah ini.



Gambar 6.12 Tampak Sisi Depan dan Samping Struktur Breasting Dolphin

6.6 Mooring Dolphin

6.6.1 Umum

Mooring dolphin adalah struktur yang berfungsi sebagai tempat boulder yang berfungsi menahan sebagai tambatan kapal. Beban yang bekerja pada struktur ini adalah boulder (tarikan kapal) dan beban gempa.

6.6.2 Perhitungan *Upperstructure*

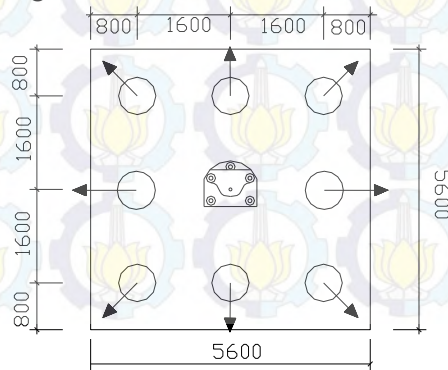
1. Pembebanan

a. Konfigurasi tiang pancang dan poer

Mooring dolphin terdiri dari poer pada struktur atasnya dan tiang pancang pada substruktur. Struktur poer berfungsi sebagai penyambung antar ujung tiang pancang, sehingga sekaligus berfungsi sebagai balok dan pelat. *Mooring Dolphin* berfungsi sebagai tempat boulder yang digunakan dalam proses tambat, sehingga diperlukan konfigurasi yang sesuai supaya menghasilkan kinerja maksimal dan hemat.

Dalam tugas akhir ini *mooring dolphin* direncanakan dengan konfigurasi sebagai berikut:

- Jenis poer : Poer ganda dengan 8 tiang
- Geometri : kotak dengan dimensi 5.6 x 5.6 m²
- Tebal : 1.2 m
- Kemiringan : 6/1



Gambar 6.13 Konfigurasi Tiang Pancang *Mooring Dolphin*
Sumber : Perhitungan

b. Pembebanan

Beban yang terjadi pada mooring dolphin adalah:

- Vertikal
 - Beban Mati
 - Berat poer = $5,6 \times 5,6 \times 1,2 \times 2,9 = 109,1328 \text{ ton}$
 - Berat catwalk = $13 \times 4 \text{ buah} = 52 \text{ ton}$
 - Berat boulder = 1 ton
 - Beban Hidup
 - Beban pangkalan = $0,5 \text{ t/m}^2$
 - Beban hujan = $0,05 \text{ t/m}^2$
 - Gaya Boulder
 - Gaya boulder vertikal = $0,5 \times 100 = 50 \text{ ton}$
- Horizontal
 - Gaya boulder = 100 ton
 - Beban Gempa

Untuk perhitungan gaya gempa, pada program SAP 2000 menggunakan respon spektrum zona 2, sehingga beban gempa yang terjadi akan dihitung pada program tersebut.

Spesifikasi tiang pancang yang digunakan:

Data Tiang Pancang

D1	= 812.8 mm	W	= 7820 cm ³
D2	= 780.8 mm	r	= 28.2 cm
t	= 16 mm	fu	= 5000 kg/cm ²
A	= 400.5 cm ²	σijin	= 2100 kg/cm ²
I	= 318000 cm ⁴	E	= 2100000 kg/cm ²

Mengitung Periode Getar Bangunan

$$T = 0.06 \cdot H^{\frac{3}{4}}$$

$$\text{Tinggi Struktur (H)} = Z_f + e$$

Perhitungan letak titik jepit tanah terhadap tiang untuk tanah normally consolidated clay and granular soil, $Z_f = 1.8T$ dimana:

$$T = \left(\frac{E \cdot I}{nh} \right)^{\frac{1}{5}}$$

$$E = 2100000 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = 318000 \text{ cm}^4$$

nh = Nilai nh diambil sebesar $nh = 150 \text{ kNm}^{-3}$ untuk tanah lanau-lempung

$$T = \left(\frac{2100000 \cdot 318000}{0.015} \right)^{\frac{1}{5}} = 536,67 \text{ cm} = 5,37 \text{ m}$$

$$Z_f = 1.8 \times 5.37 = 9.66 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} e &= \text{Elevasi bangunan} + \text{kedalaman perairan} \\ &= 3.2 + 7 = 11 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka;

$$H = Z_f + e = 9.66 + 11 = 18,09 = 18 \text{ m}$$

2. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang dipakai dalam Mooring dolphin adalah:

- DL + LL
- DL + LL + Bh
- DL + LL + Bv
- DL + 0.5 LL + Fx + 0.3 Fy
- DL + 0.5 LL + 0.3 Fx + Fy

Dimana:

DL = beban mati dan berat sendiri struktur

LL = beban hidup merata pada struktur

Bh = beban tarik horisontal kapal pada boulder

Bv = beban tarik vertikal kapal pada boulder

F_x = beban gempa arah X

F_y = beban gempa arah Y

3. Penulangan Poer

Data Poer

$$p = 5.6 \text{ m} ; d = 8 \text{ cm}$$

$$l = 5.6 \text{ m} ; D = 3.2 \text{ cm}$$

$$h = 1.2 \text{ m} ; A_s = 8.04 \text{ cm}$$

Data Bahan

Beton

$$\sigma_{bk} = 350 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = 117 \text{ kg/cm}^2$$

Baja

$$\sigma_{au} = 2780 \text{ kg/cm}^2 ; E_a = 2100000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 1850 \text{ kg/cm}^2 ; E_b = 119733,04 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2100000}{119733,04} = 17,54$$

$$\phi_0 = \frac{\sigma' a}{(n \times \sigma' b)} = \frac{1850}{(17.54 \times 115,5)} = 0,913$$

Perhitungan Tinggi Manfaat

$$h_x = h - d - 0.5D = 110,4 \text{ cm}$$

$$h_y = h - d - D - 0.5D = 107,2 \text{ cm}$$

Data gaya yang terjadi pada poer

$$P = 100 \text{ ton}$$

$$M_b = 20,899 \text{ tm}$$

$$M_p = 64,837 \text{ tm}$$

$$e_x = 0,38 \text{ (sub bab boulder)}$$

$$e_y = 0,38 \text{ (sub bab boulder)}$$

$$M_x = P \times e_x + M_b + M_p = 123,736 \text{ tm}$$

$$M_y = P \times e_y + M_b + M_p = 123,736 \text{ tm}$$

a. Penulangan Arah X

$$M_x = 123,736 \text{ tm}$$

$$\Phi_o = 0,913$$

$$Ca = \frac{hx}{\sqrt{\left(\frac{n \times M_x}{b \times \sigma_a}\right)}} = \frac{110,4}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \times 123,736}{100 \times 1850}\right)}} = 3,22$$

Dengan nilai $\delta=0$ dan $Ca = 3,22$ dari tabel perhitungan cara “n” didapatkan

$$\Phi = 1,695 > \phi_o \quad \text{OK}$$

$$100n\omega = 10,94$$

$$\text{Maka } \omega = 0,00623$$

- Luas Tulangan Tarik

$$A_s = \omega b h = 68,86 \text{ cm}^2$$

Maka dipasang tulangan sejumlah 10, dengan D32-390 mm ($A_s = 80,384 \text{ cm}^2$)

- Luas Tulangan Samping diambil 10% dari luas tulangan tarik (PBI 1971 9.3.5)

$$A_{sc} = 10\% \times 80,38 = 8,0384$$

$$\text{Dipakai } 4\phi 16 \text{ (} A_s = 8,0384 \text{ cm}^2 \text{)}$$

b. Penulangan Arah Y

$$M_x = 123,736 \text{ tm}$$

$$\Phi_o = 0,913$$

$$Ca = \frac{hx}{\sqrt{\left(\frac{n \times M_x}{b \times \sigma_a}\right)}} = \frac{107,02}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \times 123,736}{100 \times 1850}\right)}} = 3,13$$

Dengan nilai $\delta=0$ dan $Ca = 3,736$ dari tabel perhitungan cara “n” didapatkan

$$\Phi = 1,625 > \phi_o \quad \text{OK}$$

$$100n\omega = 11,720$$

$$\text{Maka } \omega = 0,00668$$

- Luas Tulangan Tarik

$$A_s = \omega b h = 71,633$$

Maka dipasang tulangan sejumlah 10, dengan D32-390 mm ($A_s = 80,384 \text{ cm}^2$)

- Luas Tulangan Samping diambil 10% dari luas tulangan tarik (PBI 1971 9.3.5)

$$A_{sc} = 10\% \times 80,384 = 8,0384 \text{ cm}^2$$

$$\text{Dipakai } 4\phi 16 \text{ (} A_s = 8,0384 \text{ cm}^2 \text{)}$$

Tabel 6.10 Rekapitulasi Penulangan Poer Mooring Dolphin

arah	Momen (kgcm)	Ca	$\phi 0 = 0.913$		100w	w	As perlu	As pakai	pasang
			ϕ	ket					
X	123.736	3.2233	1.695	OK	10.94	0.006238	68.86223	72.3456	9D32
Y	123.736	3.1299	1.63	OK	11.720	0.006682	71.63365	72.3456	9D32

Sumber: hasil perhitungan

4. Kontrol

a. Kontrol Retak

Berdasarkan PBI 1971 pasal 10.7.1b retak yang diijinkan 0,01 cm. Dengan menggunakan Tabel 10.7.1 PBI 1971 maka didapatkan:

Koefisien – koefisien ω_p , C_3 , C_4 dan C_5 harus diambil dari tabel Tabel 10.7.1, PBI 1971 didapat

$$\omega_p = \frac{A}{Bh} = \frac{8038,4}{5600 \times 1200} = 0,0012$$

Untuk balok persegi dengan $c = 8$ cm, didapatkan koefisien $C_3 = 1,5$; $C_4 = 0,04$ dan $C_5 = 7,5$

Maka lebar retak yang terjadi akibat pembebanan tetap akibat beban kerja dihitung dengan rumus :

$$w = \alpha \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) 10^{-6} \quad (cm)$$

$$w = 1 \left(1,5 \cdot 8 + 0,04 \cdot \frac{3,2}{0,0012} \right) \left(1850 - \frac{7,5}{0,0012} \right) 10^{-6} \quad (cm)$$

$$w = -0,48 \text{ cm} < 0,01 \text{ cm (OK)}$$

b. Kontrol Geser Pons

Pada mooring dolphin kontrol geser pons perlu dikontrol karena pada struktur ini tidak ada balok, tiang pancang langsung menumpu pada pelat sehingga kemungkinan besar terjadi plang pada plat atau poer. Tegangan geser pons ditentukan oleh rumus:

$$\tau_{bp} = \frac{P}{\pi \cdot (c + ht) \cdot ht} \leq \tau_{bm} \quad (\text{PBI 71 11.9.(2)})$$

Dimana:

P = gaya aksial pelat dari tiang pancang

c = diameter tiang pancang

ht = tinggi total pelat atau poer

τ_{bm} = tegangan ijin beton ($0.65\sqrt{\sigma'_{bk}}$)

Sehingga:

$$\tau_{bp} = \frac{105483,6}{\pi \cdot (81.28 + 120) \cdot 120} \leq 0.65\sqrt{350}$$

$$\tau_{bp} = 1,39 \text{ kg/cm}^2 \leq 12 \text{ kg/cm}^2$$

Karena geser pons yang terjadi lebih kecil dari tegangan ijin beton, maka poer dikatakan aman dari gaya pons atau keruntuhan akibat pons.

6.6.3 Perhitungan Substructure

Data Tiang Pancang

D1 = 812.8 mm

D2 = 780.8 mm

t = 16 mm

A = 400.5 cm²

I = 318000 cm⁴

W = 7820 cm³

r = 28.2 cm

f_u = 5000 kg/cm²

σ_{ijin} = 2100 kg/cm²

E = 2100000 kg/cm²

1. Kontrol Kebutuhan Kedalaman

Pada perencanaan struktur mooring, tiang pancang direncanakan dengan kemiringan 10:1. Rekap gaya dalam yang terjadi pada tiang dapat di lihat pada **tabel 6.** di bawah ini

Tabel 6.11 Output Gaya Dalam Tiang Pancang

Beban	Kombinasi	Besar
P (tekan)	envelope	105.4836 ton
P(tarik)	envelope	9.7639 ton
V	envelope	6.57155 ton
M	envelope	64.83757 tm
U	envelope	0.0016 m

Sumber: perhitungan

Hasil dari perhitungan SAP 2000 didapatkan hasil maksimum dari kombinasi beban, dengan menggunakan SF = 3, maka bisa dicari untuk kedalaman tiang yang diperlukan:

Tiang tekan

$$Q_1 = 3 \times 105,4836 = 316,4508 \text{ ton}$$

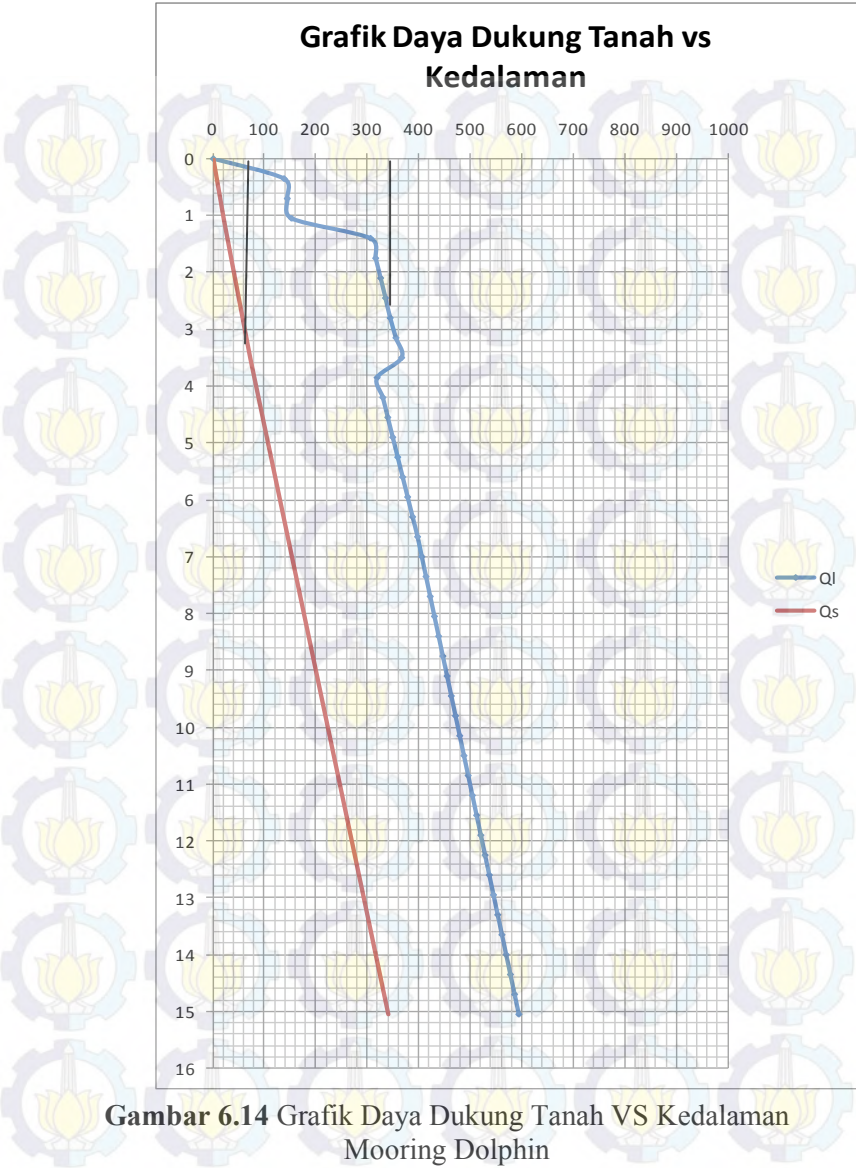
$$\text{Kedalaman} = 20,2 \text{ m}$$

Tiang tarik

$$Q_s = 3 \times 9.7639 = 29,2917 \text{ ton}$$

$$\text{Kedalaman} = 20,8 \text{ m}$$

Kedalaman tiang yang dibutuhkan untuk memikul tiang tekan adalah sedalam -20,2 mLWS. Kedalaman tiang yang dibutuhkan untuk memikul tiang tarik adalah sedalam 20,8 mLWS. Kebutuhan kedalaman tiang pancang dapat dilihat pada gambar 6.32.



2. Kontrol Korosi

Korosi tiang diasumsikan terjadi sampai tiang ditumbuhi karang yaitu selama 10 tahun. Metode perawatan digunakan dengan menyediakan alokasi tebal tiang yang akan terkorosi yaitu setebal 3mm. sesuai dengan aturan OCDI kecepatan korosi adalah 0.3 mm/tahun, sehingga

$$\text{Diameter rencana} = 812.8 - 2 \times 3 = 806.8$$

$$\text{Diameter dalam} = 780.8 + 2 \times 3 = 786.8$$

$$\begin{aligned}\text{Luas penampang (A)} &= 0.25 \pi (D1^2 - D2^2) \\ &= 0.25 \pi (806.8^2 - 786.8^2) \\ &= 39729.79 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Momen Inersia (I)} &= 1/64 \pi (D1^4 - D2^4) \\ &= 1/64 \pi (806.8^4 - 786.8^4) \\ &= 1985893876 \text{ mm}^4 = 198589.39 \text{ cm}^4\end{aligned}$$

$$\text{Section modulus (W)} = I/r = 198589.39 / 28.2 = 7042.18 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{ijin} \text{ (BJ 52)} = 2100 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned}M_{ijin} &= \sigma_{ijin} \times W \\ &= 2100 \times 7042.18 \\ &= 14788571.42 \text{ kgcm} = 147.89 \text{ tm}\end{aligned}$$

$$M_{ijin} > M_u (26,641 \text{ tm}) \dots\dots (\text{OK})$$

3. Kalendering

Perumusan kalendering yang dipakai adalah *Alfred Hiley Formula*

$$Qu = \frac{\alpha \cdot W \cdot H}{S + 0.5 \cdot C} \times \frac{W + n^2 \cdot Wp}{W + Wp}$$

Karena perhitungan dilakukan sebelum pemancangan, maka yang dihitung adalah nilai S atau penetrasi/blow, yaitu pengamatan yang dilakukan rata-rata di tiga set terakhir,

dengan 10 pukulan tiap setnya. Dan disyaratkan apabila untuk kedalaman yang sama $S > S'$, maka pemancangan dihentikan.

Dimana :

S = nilai penetrasi / blow rencana dari perhitungan

S' = nilai penetrasi / blow saat pemancangan

Kalendering tiang pancang

$$Q_u = 3 \times P = 3 \times 105,4836 = 316,4508 \text{ ton}$$

$$W = 10 \text{ ton (hydraulic hammer)}$$

$$H_{\text{tiang}} = 2 \text{ m}$$

$$C1 = 5 \text{ mm (untuk hard cushion + packing)}$$

$$C2 = 10 \text{ mm (Steel Pile)}$$

$$C3 = 4 \text{ (soft ground)}$$

$$C = c1 + c2 + c3 = 19 \text{ mm}$$

$$W_{\text{tiang}} = \omega \times l = 0.314 \times (20^2 + 2^2)^{0.5} = 6,311 \text{ ton}$$

$$\alpha = 2.5 \text{ (hydraulic hammer)}$$

$$n = 0,32 \text{ (untuk compact wood cushion on steel pile)}$$

Maka

$$316,4508 = \frac{2.5 \cdot 10 \cdot 2}{S + 0,5 \cdot 0.019} \times \frac{10 + 0.32^2 \cdot 6,311}{10 + 6,311}$$

$$S = 0,093 \text{ m} = 93 \text{ mm}$$

Jadi setting kalendering yang digunakan untuk tiang pancang adalah 9,3 cm

4. Kontrol Kuat Tekuk

Tiang pancang tegak

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{(Z_f + e)^2}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 2100000 \cdot 198589.39}{(709,8 + 1100)^2} = 997920,2354 \text{ kg} = 997,92 \text{ ton}$$

$$P_{cr} > P_u (73,89 \text{ ton}) \dots \dots (\text{OK})$$

5. Kontrol Gaya Horizontal

$$Hu = \frac{2Mu}{e + Zf} = \frac{2 \times 147,8857}{11 + 7,098} = 16,34 \text{ ton}$$

$$H \text{ max} = V = 3,172 \text{ ton (OK)}$$

6. Kontrol Tegangan

$$P = 105483,6 \text{ kg}$$

$$M = 6483757 \text{ kgcm}$$

$$A = 250,1952 \text{ cm}^2$$

$$W = 7042,176866 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{P}{A} + \frac{M}{W} = \frac{105483,6}{250,1952} + \frac{6483757}{7042,176866} \\ = 1342,31 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Sigma_{\text{ijin}} = 2100 \text{ kg/cm}^2 > 1342,31 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}$$

7. Kontrol Posisi Tiang Pancang Miring

Diketahui:

Panjang tiang : 18 m

Kemiringan tiang : 6:1

Jarak horizontal : $18/6 = 3 \text{ m}$

Jarak antar tiang 3 m

Jadi ujung bawah tidak saling berbenturan (aman)

8. Kontrol Tiang Berdiri Sendiri

$$\omega t = 1,73 \sqrt{\frac{EI}{wl^3/g}}$$

$$l = (18^2 + 3^2)^{0.5}$$

$$= 18,24 \text{ m} = 1824 \text{ cm}$$

$$w = 0.314 \times 18,24 = 3.9398 \text{ ton}$$

$$= 3939,8 \text{ kg}$$

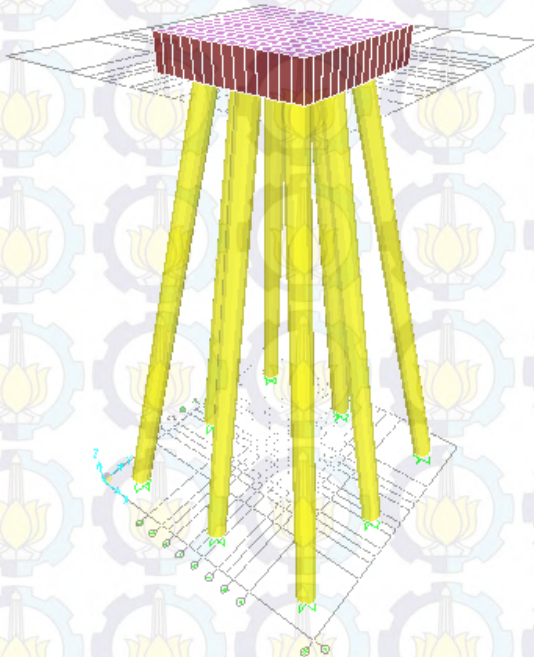
$$g = 980 \text{ cm/s}^2$$

$$\omega t = 1,73 \sqrt{\frac{2100000 \times 318000}{3939,8 \times 1824^3 / 980}} = 47,4 s^{-1}$$

agar tiang dapat berdiri sendiri maka frekuensi tiang (ωt) harus lebih besar dari frekuensi gelombang (ω).

$$\omega = \frac{1}{6} = 0,17 s^{-1}$$

Karena frekuensi tiang (ωt) lebih besar dari frekuensi gelombang (ω), maka tiang aman untuk berdiri sendiri saat pelaksanaan pekerjaan.



Gambar 6.15 Struktur Mooring Dolphin

Sumber: Hasil Perhitungan

6.7 Struktur Trestle

6.7.1 Umum

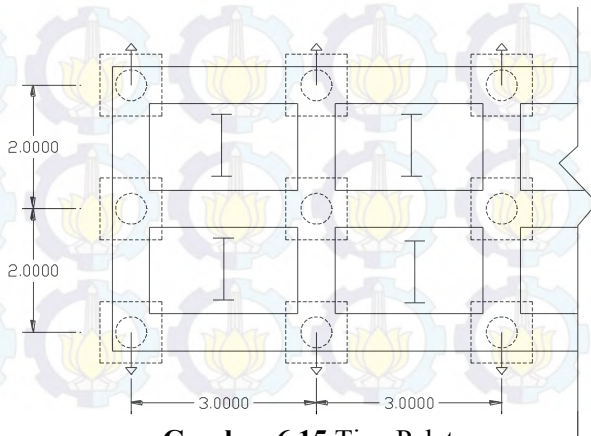
Trestle adalah bagian struktur jetty yang berfungsi sebagai jembatan untuk menghubungkan darat dan laut. Pada Tugas Akhir ini, trestle berfungsi juga sebagai tempat *conveyor belt* yang mengangkut urea dari darat menuju *shiploader* yang ada di laut. Pada trestle, terdapat 2 bagian penting yaitu bagian untuk kaki conveyor belt dan bagian untuk pejalan kaki. Pada bagian untuk tempat kaki conveyor belt, terdiri dari balok melintang, memanjang dan poer untuk upperstructure, tiang pancang untuk substructure. Pada bagian untuk pejalan kaki terdiri dari pelat, balok memanjang, balok melintang, dan poer untuk structure atas dan tiang pancang untuk substructure.

6.7.2 Perhitungan *Upperstructure*

1. Perhitungan Plat

a. Penentuan Tipe Pelat

Dalam tugas akhir ini penentuan tipe pelat trestle didasarkan pada ukuran pelat itu sendiri (**Gambar 6.15**).



Gambar 6.15 Tipe Pelat

b. Pembebanan Pelat

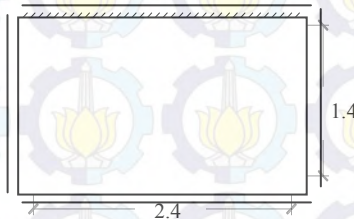
Pada perencanaan pelat beban berupa beban mati dan beban hidup. Beban mati berasal dari berat sendiri pelat sedang beban hidup berasal dari beban pangkalan, serta beban air hujan yang tergenang di atas pelat.

Pelat

$$\begin{aligned}
 L_y &= 3 - 0.6 &= 2.4 \text{ m} \\
 L_x &= 2 - 0.6 &= 1.4 \text{ m} \\
 q_D &= 0.30 \times 2.9 &= 0.87 \text{ t/m}^2 \\
 q_L &= (2 + 0.05) &= 2.05 \text{ t/m}^2 \\
 q_{\text{total}} &= 2,137 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}
 \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} L_y/L_x = 1.7$$

c. Perhitungan Momen Pelat

Contoh perhitungan momen pelat



Gambar 6.16 – Jepit pelat tipe I

Pelat direncanakan terjepit penuh dengan balok pada keempat sisinya. Dari tabel 13.3.2 PBI 1971 dapat ditentukan koefisien x untuk pelat terjepit penuh pada 4 sisinya yang dapat dilihat pada tabel 6.20.

Tabel 6.12 Nilai Koefisien X

lx	ly	ly/lx	Koefisien x			
			Mlx	Mly	Mtx	Mty
1.4	2.4	1.714	63	34	34	63

(Sumber : PBI 71)

Besar momen yang terjadi pada pelat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Ml = -Mt = 0.001q l_x^2 X$$

Momen akibat beban total ($q_{total} = 2.137 \text{ t/m}^2$)

Momen lapangan

$$Mlx = 0.001 \times 0.87 \times 1.4^2 \times 63 = 0.36 \text{ tm}$$

$$Mly = 0.001 \times 0.87 \times 1.4^2 \times 34 = 0.19 \text{ tm}$$

Momen tumpuan

$$Mtx = -0.001 \times 0.87 \times 1.4^2 \times 34 = -0.19 \text{ tm}$$

$$Mty = -0.001 \times 0.87 \times 1.4^2 \times 36 = -0.36 \text{ tm}$$

Rekap semua gaya-gaya pada pelat dapat dilihat pada **Tabel 6.13** dibawah ini.

Tabel 6.13 Nilai Momen Pelat Akibat Beban Hidup dan Mati

lx	ly	ly/lx	akibat beban total (2.137 t/m2)			
			Mlx	Mly	Mtx	Mty
1.4	2.4	1.714	-0.360562	0.194589	-0.1945888	0.360562

Sumber: Hasil Perhitungan

d. Penulangan Pelat

Momen pelat rencana dapat dilihat pada **Tabel 6.14** dibawah ini:

Tabel 6.14 Momen Pelat Rencana

Momen Pelat			
Mlx	Mly	Mtx	Mty
-0.361	0.1946	-0.195	0.360562

Sumber: hasil perhitungan

Mutu beton

$$K = 350 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'_{bk} = 350 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = 1/3 \sigma_{bk} = 116.67 \text{ kg/cm}^2$$

$$Eb = 6400 \sqrt{350} = 1.197 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

Mutu baja U32

$$\begin{aligned}\sigma_{au} &= 2780 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_a &= 1850 \text{ kg/cm}^2 \\ n &= E_a/E_b = 2.1 \times 10^6 / 1.197 \times 10^5 = 17.54\end{aligned}$$

penulangan arah sumbu-x

$$\begin{aligned}t &= 20 \text{ cm} \\ D &= 1.6 \text{ cm} \\ \text{Decking} &= 8 \text{ cm} \\ h_x &= 20 - 8 - 0.5 \times 1.6 = 11.2 \text{ cm} \\ b &= 100 \text{ cm} \\ M_{lx} &= 36056,16 \text{ kgcm}\end{aligned}$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\left(\frac{n \cdot M_{lx}}{b \cdot \sigma_a}\right)}} = \frac{11.2}{\sqrt{\left(\frac{17.54 \cdot 1,148 \cdot 36056,16}{100 \cdot 1850}\right)}} = 6,057$$

$$\omega_o = \frac{\sigma_a}{n \cdot \sigma_b} = \frac{1850}{17,54 \cdot 117} = 0,913$$

Diambil $\delta = 0$ (tidak memerlukan tulangan tekan), untuk $Ca = 6,057$ dari tabel lentur "n" PBI 1971 diperoleh:

$$\Phi = 4.882 > \Phi_o \text{ (OK)}$$

$$100n\omega = 1,741$$

$$\omega = 1,741 / (100 \times 17.54) = 0,00099$$

$$\begin{aligned}As &= \omega b h \\ &= 0.00099 \times 100 \times 11,2 = 1,11 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

Dipasang tulangan D16 - 73 dengan luas (10,053 cm²)

e. Kontrol Retak

Perhitungan lebar retak dihitung dengan menggunakan perumusan berikut:

dimana nilai ω_p dan σ_a didapat dari rumus berikut untuk balok persegi yang menerima lentur murni

$$w = \alpha \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$\omega_p = \frac{A_{pakai}}{b \cdot h} = \frac{10,053}{100 \cdot 11.2} = 0.08976$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a}{\Phi} = \frac{1850}{4,882} = 378,943$$

dari tabel 10.7.1 PBI 1971 diperoleh nilai koefisien C sebagai berikut:

$$C_3 = 1.05; C_4 = 0.04; C_5 = 7.5$$

berat baja tulangan per meter adalah $w_{\text{bar}} = 1.552 \text{ kg/m}$

$$d = 12.8 \sqrt{w_{\text{bar}}} = 12.8 \sqrt{1.552} = 15.95$$

$$w = \alpha \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$w = 1 \cdot \left(1,05 \cdot 7 + 0,04 \cdot \frac{16}{0.00898} \right) \left(378,943 - \frac{7,5}{0.00898} \right) \cdot 10^{-6} = -0,0032 \text{ cm}$$

nilai minus, lebar retak $< 0.01 \text{ cm}$

untuk perhitungan tulangan yang lain dapat dilihat pada **Tabel 6.15** dan **6.16**.

Tabel 6.15 Penulangan Pelat Trestle

arah	M(t.m)	Ca	$\phi=0.913$		100 ω	ω	As perlu	As pakai
			ϕ	ket				
Mlx	-0.3605616	6.057752	4.882	OK	1.741	0.000993	1.111761	8.0424772
Mly	0.1945888	8.245981	8.009	OK	0.693	0.000395	0.442533	8.0424772
Mtx	-0.1945888	8.245981	3.149	OK	3.826	0.002181	2.443193	10.053096
Mty	0.3605616	6.057752	3.878	OK	2.643	0.001507	1.687757	10.053096

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 6.16 Nilai Retak Pelat Trestle

arah	M(t.m)	ω_p	σ_a/ϕ	w	ket
Mlx	-0.3605616	0.007181	378.94306	-0.00591949	OK
Mly	0.1945888	0.007181	230.99014	0.000012	OK
Mtx	-0.1945888	0.007181	587.48809	0.000012	OK
Mty	0.3605616	0.007181	477.05003	0.000012	OK

Sumber: Hasil Perhitungan

2. Perhitungan Balok

a. Penentuan Tipe Balok

Penentuan tipe balok didasarkan pada luasan beban tributary akibat pelat di dekatnya (gambar 6.21). Beberapa tipe balok yang berada di tepi (B3) untuk momen dan penulangannya digunakan penulangan praktis dengan mengikuti tulangan balok didekatnya. Hal ini dikarenakan untuk balok-balok tersebut memiliki bentang dan beban tributary yang kecil sehingga sudah cukup aman jika direncanakan pendetailan seperti balok di dekatnya. Maka balok trestle yang diperhitungkan detailingnya adalah balok melintang (B1) dan balok memanjang (B2).

Perhitungan pembebanan akibat pelat dilakukan seperti prosedur di bawah ini. Berikut adalah contoh perhitungan dengan menggunakan sample pelat tipe I dengan ukuran 2.4 x 1.4 m.

b. Pembebanan Balok

- Beban Vertikal
 - Beban sendiri konstruksi balok
 Berat jenis beton bertulang diambil sebesar 2.9 t/m³
 (sumber: *Technical Standartbfor Port and Harbour I*

Japan) Untuk berat sendiri balok sudah terakumulasi secara otomatis oleh program SAP 2000 V14.0

Beban Mati

1. Pelat (tebal 20 cm)	$= 2.9 \times 45 \times 4$	$= 104,4 \text{ t}$
2. Balok memanjang	$= 2.9 \times 0.9 \times 0.6 \times 45 \times 2$	$= 140,94 \text{ t}$
3. Balok melintang	$= 2.9 \times 0.9 \times 0.6 \times 15 \times 4$	$= 93,96 \text{ t}$
4. Poer tunggal	$= 2.9 \times 1 \times 1 \times 1 \times 48$	$= 139,2 \text{ t}$
5. conveyor belt	$=$	$= 0,5 \text{ t}$
Total DL		$= 479,1 \text{ t}$

Beban Hidup

1. Beban pangkalan	$= 2 \times 45 \times 4$	$= 360 \text{ t}$
2. Beban air hujan	$= 0.05 \times 45 \times 4$	$= 9 \text{ t}$
3. Beban urea	$=$	$= 1,25 \text{ t}$
Total LL		$= 370,25 \text{ t}$

Berat Bangunan

$$W_t = DL + 0.5 LL$$

$$= 479,1 + 0.5 \times 370,25 = 664,225 \text{ t}$$

- **Beban Gempa**

Untuk perhitungan gaya gempa, pada program SAP 2000 menggunakan respon spektrum zona 2, sehingga beban gempa yang terjadi akan dihitung pada program tersebut.

Data Tiang Pancang

D1	$= 508 \text{ mm}$	W	$= 2610 \text{ cm}^3$
t	$= 14 \text{ mm}$	r	$= 17,5 \text{ cm}$
A	$= 217,3 \text{ cm}^2$	fu	$= 5000 \text{ kg/cm}^2$
I	$= 66300 \text{ cm}^4$	σijin	$= 2100 \text{ kg/cm}^2$
E	$= 2100000 \text{ kg/cm}^2$		

Menghitung Periode Getar Bangunan:

$$T = 0.06 \cdot H^{\frac{3}{4}}$$

Tinggi struktur (H) = Zf + e

Perhitungan letak titik jepit tanah terhadap tiang untuk tanah normally consolidated clay and granular soil, Zf = 1.8T dimana:

$$T = \left(\frac{E \cdot I}{nh} \right)^{\frac{1}{5}}$$

E = 2100000 kg/cm²

I = 66300 cm⁴

nh = Nilai nh diambil sebesar nh 700 kN/m⁻³ untuk tanah soft organic silts.

$$T = \left(\frac{2100000 \cdot 66300}{0.7} \right)^{\frac{1}{5}} = 288,22 \text{ cm} = 2,88 \text{ m}$$

Zf = 1.8 x 2,88 = 5,19 m

e = Elevasi bangunan + kedalaman perairan
= 4 + 3 = 7 m

Maka;

H = Zf + e = 2.88 + 7 = 12,18 m = 13 m

c. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang dipakai dalam analisis struktur adalah sebagai berikut:

DL + LL

DL + 0.5 LL + FX + 0.3 FY

DL + 0.5 LL + FY + 0.3 FX

Dimana:

DL = beban mati dan berat sendiri

LL = beban hidup merata

F_x = beban gempa arah-X

F_y = beban gempa arah-Y

d. Rekapitulasi Output SAP

Rekap hasil output SAP dapat dilihat pada **Tabel 6.17** dan **6.18** berikut:

Tabel 6.17 Hasil Kombinasi Beban pada Balok Melintang

Kombinasi	M _{tum} (kgcm)	M _{lap} (kgcm)	V _{max} (kg)	T (kg)
envelope	1423437	1434088	18490.76	52422

Sumber: hasil perhitungan

Tabel 6.18 Hasil Kombinasi Beban pada Balok Memanjang

Kombinasi	M _{tum} (kgcm)	M _{lap} (kgcm)	V _{max} (kg)	T (kg)
envelope	1929391	1803702	16356.55	1195.63

Sumber: hasil perhitungan

e. Penulangan Balok

• Balok Memanjang

○ Data Balok

$$\begin{aligned}
 l_o &= 4500 \text{ cm} & ; D2 &= 1,6 \text{ cm} \\
 b_o &= 60 \text{ cm} & ; A1 &= 8.04 \text{ cm} \\
 h_t &= 90 \text{ cm} & ; A2 &= 2.01 \text{ cm} \\
 c &= 8 \text{ cm} & ; h &= h_t - c - D2 - 0.5D1 \\
 D1 &= 3.2 \text{ cm} & &= 90 - 8 - 1,6 - 0,5 \times 3.2 \\
 & & &= 78,8 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Dimana: D1 = diameter tulangan utama

D2 = diameter tulangan sengkang

Data Bahan

Beton

$$\Sigma b_k = 350 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = 117 \text{ kg/cm}^2$$

Baja

$$\Sigma_{au} = 2780 \text{ kg/cm}^2 ; E_a = 2100000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 1850 \text{ kg/cm}^2 ; E_b = 119733,04 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2100000}{119733,04} = 17,54$$

$$\phi_0 = \frac{\sigma' a}{(n \times \sigma' b)} = \frac{1850}{(17,54 \times 115,5)} = 0,913$$

o Penulangan Tumpuan

$$M_{tump} = 1929391 \text{ kgcm}$$

$$\phi_0 = 0,913$$

$$Ca = \frac{hx}{\sqrt{\left(\frac{n \times Mx}{b \times \sigma a}\right)}} = \frac{78,8}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \times 1929391}{60 \times 1850}\right)}} = 4,51$$

Dengan nilai $\delta=0,4$ dan $Ca = 4,51$ dari tabel perhitungan cara “n” didapatkan

$$\Phi = 2,774 > \phi_0 \quad \text{OK}$$

$$100n\omega = 5,248$$

$$\text{Maka } \omega = 0,00299$$

▪ Luas Tulangan Tarik

$$A_s = \omega b h = 14,15 \text{ cm}^2$$

Dipakai 4D32 ($A_s = 32,17 \text{ cm}^2$)

▪ Luas Tulangan Tekan

$$A_s = \delta \times A_s = 6,43 \text{ cm}^2$$

Dipakai 3D32 ($A_s = 24,13 \text{ cm}^2$)

▪ Luas Tulangan Samping diambil 10% dari luas tulangan tarik (PBI 1971 9.3.5)

$$A_{sc} = 10\% \times 32,17 = 3,217 \text{ cm}^2$$

Dipakai 2 ϕ 16 ($A_s = 4,0192 \text{ cm}^2$)

- Cek Jarak Antar Tulangan

$$St = \frac{b_b - 2d - nD}{n - 1} = 8,55 \text{ cm}$$

- Penulangan Lapangan

$$M_{tump} = 1803702 \text{ kgcm}$$

$$\Phi_o = 0,913$$

$$Ca = \frac{hx}{\sqrt{\left(\frac{n \times Mx}{b \times \sigma a}\right)}} = \frac{78,8}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \times 1863805}{60 \times 1850}\right)}} = 4,67$$

Dengan nilai $\delta=0,4$ dan $Ca = 4,67$ dari tabel perhitungan cara “n” didapatkan

$$\Phi = 2,846 > \phi_o \text{ OK}$$

$$100n\omega = 5,000$$

$$\text{Maka } \omega = 0,00285$$

- Luas Tulangan Tarik

$$As = \omega b h = 13,48 \text{ cm}^2$$

$$\text{Dipakai 4D32 (As = 32,17 cm}^2\text{)}$$

- Luas Tulangan Tekan

$$As = \delta \times As = 6,43 \text{ cm}^2$$

$$\text{Dipakai 3D32 (As = 24,13 cm}^2\text{)}$$

- Luas Tulangan Samping diambil 10% dari luas tulangan tarik (PBI 1971 9.3.5)

$$Asc = 10\% \times 24,13 = 2,413 \text{ cm}^2$$

$$\text{Dipakai 2}\phi 16 \text{ (As = 4,0192 cm}^2\text{)}$$

- Cek Jarak Antar Tulangan

$$St = \frac{b_b - 2d - nD}{n - 1} = 8,55 \text{ cm}$$

Tabel 6.19 Rekapitulasi Penulangan Balok Memanjang
Pelat Trestle

arah	Momen (kgcm)	Ca	$\phi 0 = 0.913$		100 ω	ω	As perlu	As pakai	pasang
			ϕ	ket					
tumpuan	1929391	4.5131	2.774	OK	5.248	0.00299	14.1471	32.1699	4D32
lapangan	1803702	4.6677	2.85	OK	5.000	0.00285	13.4785	32.1699	4D32

Sumber : perhitungan

o Kontrol Lebar Retak

Berdasarkan PBI 1971 pasal 10.7.1b retak yang diijinkan 0,01 cm. Dengan menggunakan Tabel 10.7.1 PBI 1971 maka didapatkan:

Koefisien – koefisien ω_p , C_3 , C_4 dan C_5 harus diambil dari tabel Tabel 10.7.1, PBI 1971 didapat

$$\omega_p = \frac{A}{Bh} = \frac{160800}{100 \times 788} = 0,0034$$

Untuk balok persegi dengan $c = 8$ cm, didapatkan koefisien $C_3 = 1,5$, $C_4 = 0,04$ dan $C_5 = 7,5$

Maka lebar retak yang terjadi akibat pembebanan tetap akibat beban kerja dihitung dengan rumus :

$$w = \alpha \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) 10^{-6} \quad (cm)$$

$$w = 1 \left(1,5 \cdot 8 + 0,04 \cdot \frac{3,2}{0,0034} \right) \left(1850 - \frac{7,5}{0,0034} \right) 10^{-6} \quad (cm)$$

$$w = -0.057 \text{ cm} < 0,01 \text{ cm (OK)}$$

nilai – menunjukkan bahwa struktur kuat dan tidak mengalami retak.

o Kontrol Dimensi Balok

$$D = 16356,55 \text{ kg}$$

$$M \text{ puntir} = 1195,63 \text{ kgcm}$$

$$\tau_b = \frac{D}{b \times \frac{7}{8} \times h} = \frac{16356,55}{60 \times \frac{7}{8} \times 90} = 3,95 \text{ kg/cm}^2$$

$$\psi = 3 + \frac{2,6}{0,45 + \frac{90}{60}} = 4,33$$

$$\tau_{ib} = \frac{\psi \times M_{puntir}}{b^2 \times h} = \frac{4,33 \times 1195,63}{60^2 \times 90} = 0,016 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_b + \tau_{ib} = 3,97 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_m = 1,62 \sqrt{350} = 30,31 \text{ kg/cm}^2$$

$\tau_b + \tau_{ib} < \tau_m$ (ukuran balok memenuhi syarat)

○ Penulangan Geser

Tegangan beton yang diijinkan berdasarkan PBI 1971 tabel 10.4 untuk pembebanan tetap

$$\tau_{bt} = 1,35 \sqrt{\sigma_{bk}}$$

$$\tau_{bt} = 25,256$$

Untuk pembebanan sementara

$$\tau_{bt} = 2,12 \sqrt{\sigma'_{bk}}$$

$$\tau_{bt} = 39,66 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_b < \tau_{bt} \quad (\text{OK})$$

$$\tau_b < \tau_{bm} \quad (\text{OK})$$

Senggang pada tumpuan

$$D = 16356,55 \text{ kg}$$

Diameter senggang

$$A_s = 4,02 \text{ cm}^2$$

$$a_s < \frac{A_s \times \sigma_a}{\tau_b \times b} = \frac{4,02 \times 1850}{3,95 \times 60} = 31,35 \text{ cm}$$

dipasang 10 tulangan D16-450 ($A_s = 40,2 \text{ cm}^2$)

o Panjang Tulangan Penyaluran

Untuk tulangan tarik diambil nilai terbesar dari persamaan berikut:

$$Ld = 0,09 \times \frac{d \times \sigma_{au}}{\sqrt{\sigma'_{bk}}} \quad \text{PBI 171 pasal 8.6}$$

$$Ld = 107,52 \text{ cm}$$

dan

$$Ld = 0,005 \times d \times \sigma_{au}$$

$$Ld = 0,005 \times 3,2 \times 320 = 57,824 \text{ cm}$$

Dipakai jarak 108 cm

Untuk tulangan tekan diambil nilai terbesar dari persamaan berikut:

$$Ld = 0,09 \times \frac{d \times \sigma_{au}}{\sqrt{\sigma'_{bk}}} \quad \text{PBI 171 pasal 8.7}$$

$$Ld = 42,796 \text{ cm}$$

dan

$$Ld = 0,005 \times d \times \sigma_{au}$$

$$Ld = 0,005 \times 1,6 \times 320 = 44,48 \text{ cm}$$

Dipakai jarak 45 cm

• Balok Melintang

o Data Balok

$$l_o = 4500 \text{ cm}$$

$$b_o = 60 \text{ cm}$$

$$h_t = 90 \text{ cm}$$

$$c = 8 \text{ cm}$$

$$D1 = 3,2 \text{ cm}$$

$$; D2 = 1,6 \text{ cm}$$

$$; A1 = 8,04 \text{ cm}$$

$$; A2 = 2,01 \text{ cm}$$

$$; h = h_t - c - D2 - 0,5D1$$

$$= 90 - 8 - 1,6 - 0,5 \times 3,2$$

$$= 78,8 \text{ cm}$$

$$\text{Dimana: } D1 = \text{diameter tulangan utama}$$

$$D2 = \text{diameter tulangan sengkang}$$

Data Bahan

Beton

$$\Sigma_{bk} = 350 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = 117 \text{ kg/cm}^2$$

Baja

$$\Sigma a_u = 2780 \text{ kg/cm}^2 ; E_a = 2100000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 1850 \text{ kg/cm}^2 ; E_b = 119733,04 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = \frac{E_a}{E_b} = \frac{2100000}{119733,04} = 17,54$$

$$\phi_0 = \frac{\sigma'_a}{(n \times \sigma'_b)} = \frac{1850}{(17,54 \times 115,5)} = 0,913$$

o Penulangan Tumpuan

$$M_{\text{tump}} = 1662843 \text{ kgcm}$$

$$\Phi_0 = 0,913$$

$$C_a = \frac{h_x}{\sqrt{\left(\frac{n \times M_x}{b \times \sigma_a}\right)}} = \frac{78,8}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \times 1662843}{60 \times 1850}\right)}} = 4,86$$

Dengan nilai $\delta=0,4$ dan $C_a = 4,86$ dari tabel perhitungan cara "n" didapatkan

$$\Phi = 2,922 > \phi_0 \quad \text{OK}$$

$$100n\omega = 4,76$$

$$\text{Maka } \omega = 0,0027$$

▪ Luas Tulangan Tarik

$$A_s = \omega b h = 12,83 \text{ cm}^2$$

$$\text{Dipakai } 4D32 (A_s = 32,17 \text{ cm}^2)$$

▪ Luas Tulangan Tekan

$$A_s = \delta \times A_s = 12,87 \text{ m}^2$$

$$\text{Dipakai } 3D32 (A_s = 24,127 \text{ cm}^2)$$

▪ Luas Tulangan Samping diambil 10% dari luas tulangan tarik (PBI 1971 9.3.5)

$$A_{sc} = 10\% \times 32,17 = 3,217 \text{ cm}^2$$

$$\text{Dipakai } 2D16 (A_s = 4,0192 \text{ cm}^2)$$

▪ Cek Jarak Antar Tulangan

$$St = \frac{b_b - 2d - nD}{n - 1} = 8,452 \text{ cm}$$

○ Penulangan Lapangan

$$M_{tump} = 1493077 \text{ kgcm}$$

$$\Phi_o = 0,913$$

$$Ca = \frac{hx}{\sqrt{\left(\frac{n \times Mx}{b \times \sigma a}\right)}} = \frac{78,8}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \times 1493077}{60 \times 1850}\right)}} = 5,13$$

Dengan nilai $\delta=0,4$ dan $Ca = 4,59$ dari tabel perhitungan cara “n” didapatkan

$$\Phi = 3,167 > \phi_o \text{ OK}$$

$$100n\omega = 4,091$$

$$\text{Maka } \omega = 0,00233$$

▪ Luas Tulangan Tarik

$$As = \omega b h = 11,028 \text{ cm}^2$$

$$\text{Dipakai 4D32 (As = 32,17 cm}^2\text{)}$$

▪ Luas Tulangan Tekan

$$As = \delta \times As = 12,87 \text{ cm}^2$$

$$\text{Dipakai 2D32 (As = 16,08 cm}^2\text{)}$$

▪ Luas Tulangan Samping diambil 10% dari luas tulangan tarik (PBI 1971 9.3.5)

$$Asc = 10\% \times 32,17 = 3,217 \text{ cm}^2$$

$$\text{Dipakai 2D16 (As = 4,0192 cm}^2\text{)}$$

▪ Cek Jarak Antar Tulangan

$$St = \frac{b_b - 2d - nD}{n - 1} = 8,452 \text{ cm}$$

○ Kontrol Lebar Retak

Berdasarkan PBI 1971 pasal 10.7.1b retak yang diijinkan 0,01 cm. Dengan menggunakan Tabel 10.7.1 PBI 1971 maka didapatkan:

Koefisien – koefisien ω_p , C_3 , C_4 dan C_5 harus diambil dari tabel Tabel 10.7.1, PBI 1971 didapat

$$\omega_p = \frac{A}{Bh} = \frac{32,17}{100 \times 78,8} = 0,0068$$

Untuk balok persegi dengan $c = 8$ cm, didapatkan koefisien $C_3 = 1,5$; $C_4 = 0,04$ dan $C_5 = 7,5$

Maka lebar retak yang terjadi akibat pembebanan tetap akibat beban kerja dihitung dengan rumus :

$$w = \alpha \left(C_3 \cdot c + C_4 \cdot \frac{d}{\omega_p} \right) \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p} \right) 10^{-6} \quad (cm)$$

$$w = 1 \left(1,5 \cdot 8 + 0,04 \cdot \frac{3,2}{0,0068} \right) \left(1850 - \frac{7,5}{0,0068} \right) 10^{-6} \quad (cm)$$

$$w = -0.088 \text{ cm} < 0,01 \text{ cm (OK)}$$

nilai – menunjukkan bahwa struktur kuat dan tidak mengalami retak.

○ Kontrol Dimensi Balok

$$D = 18199,9 \text{ kg}$$

$$M \text{ puntir} = 925,36 \text{ kgcm}$$

$$\tau_b = \frac{D}{b \times \frac{7}{8} \times h} = \frac{18199,9}{60 \times \frac{7}{8} \times 90} = 4,399 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Psi = 3 + \frac{2,6}{0,45 + \frac{90}{60}} = 4,33$$

$$\tau_{ib} = \frac{\Psi \times M_{puntir}}{b^2 \times h} = \frac{4,33 \times 925,36}{60^2 \times 90} = 0,012 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{bt} + \tau_{ib} = 4,41 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_m = 1,62 \sqrt{350} = 30,31 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{bt} + \tau_{ib} < \tau_m \text{ (ukuran balok memenuhi syarat)}$$

o Penulangan Geser

Tegangan beton yang diijinkan berdasarkan PBI 1971 tabel 10.4 untuk pembebanan tetap

$$\tau_{bt} = 1,35 \sqrt{\sigma' b k}$$

$$\tau_{bt} = 25,256$$

Untuk pembebanan sementara

$$\tau_{bt} = 2,12 \sqrt{\sigma' b k}$$

$$\tau_{bt} = 39,66 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_b < \tau_{bt} \quad (\text{OK})$$

$$\tau_b < \tau_{bm} \quad (\text{OK})$$

Sengkang pada tumpuan

$$D = 18199,9 \text{ kg}$$

Diameter sengkang

$$A_s = 4,02 \text{ cm}^2$$

$$a_s < \frac{A_s \times \sigma_a}{\tau_b \times b} = \frac{4,02 \times 1850}{4,399 \times 60} = 28,17 \text{ cm}$$

dipasang 10 tulangan D16-450 ($A_s = 40,2 \text{ cm}^2$)

o Panjang Tulangan Penyaluran

Untuk tulangan tarik diambil nilai terbesar dari persamaan berikut:

$$L_d = 0,09 \times \frac{d \times \sigma_{au}}{\sqrt{\sigma' b k}} \quad \text{PBI 171 pasal 8.7}$$

$$L_d = 107,52 \text{ cm}$$

dan

$$L_d = 0,005 \times d \times \sigma_{au}$$

$$Ld = 0,005 \times 3,2 \times 320 = 57,824 \text{ cm}$$

Dipakai jarak 108 cm

Untuk tulangan tekan diambil nilai terbesar dari persamaan berikut:

$$Ld = 0,09 \times \frac{d \times \sigma_{au}}{\sqrt{\sigma'_{bk}}} \quad \text{PBI 171 pasal 8.7}$$

$$Ld = 42,796 \text{ cm}$$

dan

$$Ld = 0,005 \times d \times \sigma_{au}$$

$$Ld = 0,005 \times 1,6 \times 320 = 44,48 \text{ cm}$$

Dipakai jarak 45 cm

Tabel 6.20 Rekapitulasi Penulangan Balok Melintang Pelat Trestle

arah	Momen (kgcm)	Ca	$\phi 0 = 0.913$		100 ω	ω	As perlu	As pakai	pasang
			ϕ	ket					
tumpuan	1662843	4.8614	2.922	OK	4.76	0.00271	12.8316	32.1699	4D32
lapangan	1493077	5.1303	3.17	OK	4.091	0.00233	11.0281	32.1699	4D32

Sumber : perhitungan

6.7.3 Perhitungan *Substructure*

1. Perhitungan Tiang Pancang

a. Data Tiang

$$D1 = 508 \text{ mm}$$

$$W = 3420 \text{ cm}^3$$

$$D2 = 480 \text{ mm}$$

$$r = 21 \text{ cm}$$

$$t = 14 \text{ mm}$$

$$f_u = 5000 \text{ kg/cm}^2$$

$$A = 217,3 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{ijin} = 2100 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = 66300 \text{ cm}^4$$

$$E = 2100000 \text{ kg/cm}^2$$

b. Kontrol Kebutuhan Kedalaman Tiang

Pada perencanaan struktur trestle, tiang pancang direncanakan dengan kemiringan 5:1. Rekap gaya dalam yang terjadi pada tiang dapat di lihat pada **Tabel 6.21** di bawah ini

Tabel 6.21 Output Gaya Dalam Tiang Pancang Trestle

Beban	Kombinasi	Besar
P (tekan)	envelope	39.94054 ton
P(tarik)	envelope	0 ton
V	envelope	2.83308 ton
M	envelope	18.41818 tm
U	envelope	0.0029 m

Sumber: perhitungan

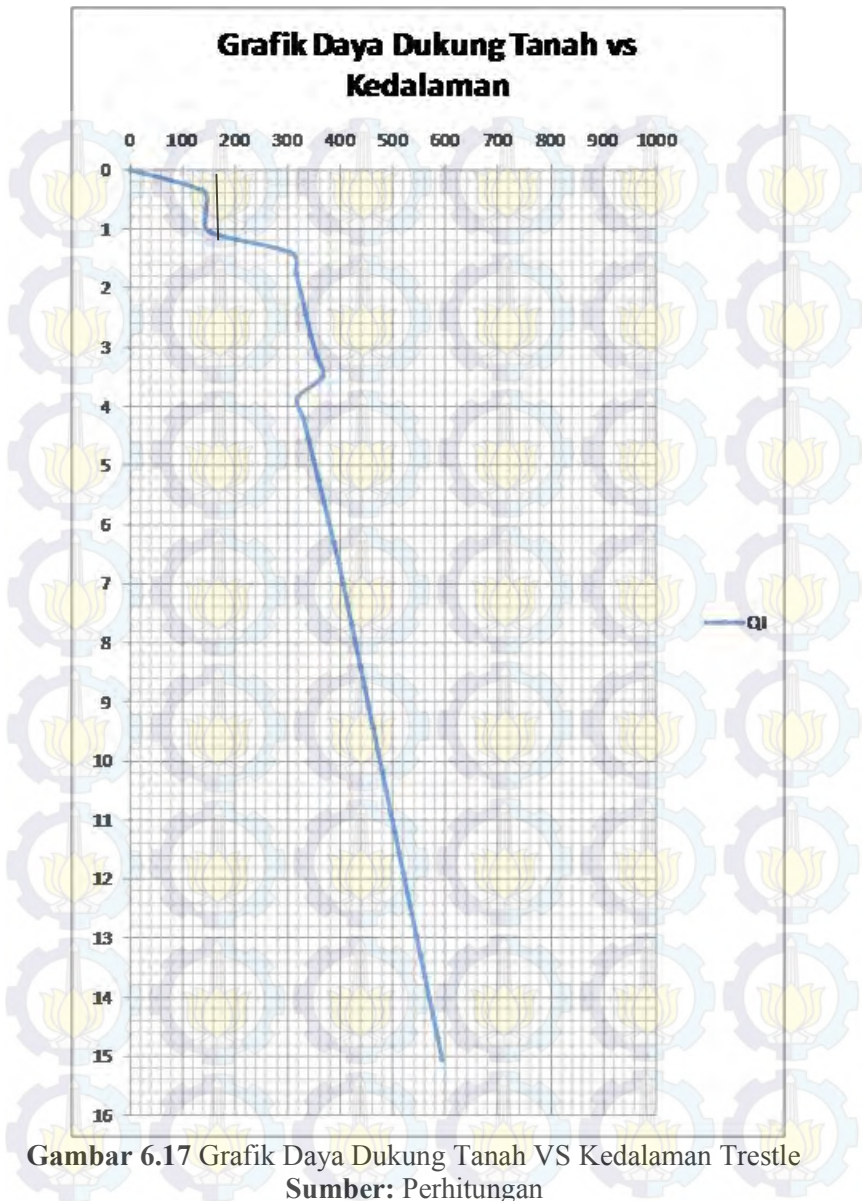
Hasil dari perhitungan SAP 2000 didapatkan hasil maksimum dari kombinasi beban, dengan menggunakan $SF = 3$, maka bisa dicari untuk kedalaman tiang yang diperlukan:

Tiang tekan

$$Q_1 = 3 \times 39,9405 = 119,82 \text{ ton}$$

Kedalaman = 14 m

Kedalaman tiang yang dibutuhkan untuk memikul tiang tekan adalah sedalam 14 mLWS. Kebutuhan kedalaman tiang pancang dapat dilihat pada **Gambar 6.17**.



c. Kontrol Tiang Pancang terhadap Korosi

Korosi tiang diasumsikan terjadi sampai tiang ditumbuhi karang yaitu selama 10 tahun. Metode perawatan digunakan dengan menyediakan alokasi tebal tiang yang akan terkorosi yaitu setebal 3mm. sesuai dengan aturan OCDI kecepatan korosi adalah 0.3 mm/tahun, sehingga

$$\text{Diameter rencana} = 508 - 2 \times 3 = 502 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter dalam} = 480 + 2 \times 3 = 486 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang (A)} &= 0.25 \pi (D1^2 - D2^2) \\ &= 0.25 \pi (502^2 - 486^2) \\ &= 12409,28 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen Inersia (I)} &= 1/64 \pi (D1^4 - D2^4) \\ &= 1/64 \pi (502^4 - 486^4) \\ &= 378638156 \text{ mm}^4 = 37863,816 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{Section modulus (W)} = I/r = 37863,816 / 21 = 1803,04 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{ijin} \text{ (BJ 52)} = 2100 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} M_{ijin} &= \sigma_{ijin} \times W \\ &= 2100 \times 1803,04 \\ &= 3786381,56 \text{ kgcm} = 37,86 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$M_{ijin} > M_u \text{ (19,65 tm) (OK)}$$

d. Perhitungan Kalendering

Perumusan kalendering yang dipakai adalah *Alfred Hiley Formula*

$$Q_u = \frac{\alpha \cdot W \cdot H}{S + 0,5 \cdot C} \times \frac{W + n^2 \cdot W_p}{W + W_p}$$

Karena perhitungan dilakukan sebelum pemancangan, maka yang dihitung adalah nilai S atau penetrasi/blow, yaitu pengamatan yang dilakukan rata-rata di tiga set terakhir,

dengan 10 pukulan tiap setnya. Dan disyaratkan apabila untuk kedalaman yang sama $S > S'$, maka pemancangan dihentikan.

Dimana :

S = nilai penetrasi / blow rencana dari perhitungan

S' = nilai penetrasi / blow saat pemancangan

Kalendering tiang pancang tegak

$$Q_u = 3 \times P = 3 \times 39,9405 = 119,82 \text{ ton}$$

$W = 10 \text{ ton}$ (hydraulic hammer)

$$H_{\text{tiang}} = 2 \text{ m}$$

$C_1 = 5 \text{ mm}$ (*untuk hard cushion + packing*)

$C_2 = 10 \text{ mm}$ (Steel Pile)

$C_3 = 4$ (soft ground)

$$C = c_1 + c_2 + c_3 = 19 \text{ mm}$$

$$W_{\text{tiang}} = \omega \times l = 0,171 \times 14 = 0,7852 \text{ ton}$$

$\alpha = 2,5$ (*hydraulic hammer*)

$n = 0,32$ (*untuk compact wood cushion on steel pile*)

Maka

$$119,82 = \frac{2,5 \cdot 10 \cdot 2}{S + 0,5 \cdot 0,019} \times \frac{10 + 0,32^2 \cdot 0,7852}{10 + 0,07852}$$

$$S = 0,014 \text{ m} = 14 \text{ mm}$$

Kalendering tiang pancang miring

$$Q_u = 3 \times P = 3 \times 39,9405 = 119,82 \text{ ton}$$

$W = 10 \text{ ton}$ (hydraulic hammer)

$$H_{\text{tiang}} = 2 \text{ m}$$

$C_1 = 5 \text{ mm}$ (*untuk hard cushion + packing*)

$C_2 = 10 \text{ mm}$ (Steel Pile)

$C_3 = 4$ (soft ground)

$$C = c_1 + c_2 + c_3 = 19 \text{ mm}$$

$$W_{\text{tiang}} = \omega \times l = 0,171 \times (13^2 + 2,6^2)^{0,5} = 0,8 \text{ ton}$$

$\alpha = 2.5$ (hydraulic hammer)

$n = 0,32$ (untuk compact wood cushion on steel pile)

Maka

$$119,82 = \frac{2,5 \cdot 10 \cdot 2}{S + 0,5 \cdot 0,019} \times \frac{10 + 0,32^2 \cdot 0,8}{10 + 0,8}$$

$$S = 0,015 \text{ m} = 15 \text{ mm}$$

Jadi setting kalendering yang digunakan untuk tiang pancang tegak adalah 1,4 cm dan untuk tiang pancang miring adalah 1,5 cm.

e. Kontrol Kuat Tekuk

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{(Z_f + e)^2}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 2100000 \cdot 37863856}{(518,79 + 700)^2} = 5277624737 \text{ kg} = 5277624,4 \text{ ton}$$

$P_{cr} > P_u$ (39,94 ton) (OK)

f. Kontrol Gaya Horizontal

$$H_u = \frac{2Mu}{e + Z_f} = \frac{2 \times 37,3638156}{5,1879 + 7} = 6,213 \text{ ton}$$

$H_{\max} = V = 2,83 \text{ ton}$ (OK)

g. Kontrol Tegangan

$$P = 39940,54 \text{ kg}$$

$$M = 1841818 \text{ kgcm}$$

$$A = 124,09 \text{ cm}^2$$

$$W = 1803,0388 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{max} = \frac{P}{A} + \frac{M}{W} = \frac{39940,54}{250,1952} + \frac{1841818}{1803,0388} = 1343,368 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Sigma_{ijin} = 2100 \text{ kg/cm}^2 > 1343,368 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}$$

h. Kontrol Posisi Tiang Pancang Miring

Diketahui:

Panjang tiang : 13 m

Kemiringan tiang : 5:1

Jarak horizontal : $13/5 = 2.6 \text{ m}$

Jarak antar tiang 2,6 m

Jadi ujung bawah tidak saling berbenturan (aman)

i. Kontrol Tiang Tegak berdiri Sendiri

$$\omega t = 1,73 \sqrt{\frac{EI}{wl^3/g}}$$

$$l = 13 \text{ m} = 1300 \text{ cm}$$

$$w = 0.171 \times 13 = 0,7852 \text{ ton}$$

$$= 785,2 \text{ kg}$$

$$g = 980 \text{ cm/s}^2$$

$$\omega t = 1,73 \sqrt{\frac{2100000 \times 66300}{785,2 \times 1300^3 / 980}} = 15,38 \text{ s}^{-1}$$

agar tiang dapat berdiri sendiri maka frekuensi tiang (ωt) harus lebih besar dari frekuensi gelombang (ω).

$$\omega = \frac{1}{6} = 0.17 \text{ s}^{-1}$$

Karena frekuensi tiang (ωt) lebih besar dari frekuensi gelombang (ω), maka tiang aman untuk berdiri sendiri saat pelaksanaan pekerjaan.

j. Kontrol Tiang Mirign Berdiri Sendiri

$$\omega t = 1,73 \sqrt{\frac{EI}{wt^3/g}}$$

$$l = (13^2 + 2.6^2)^{0.5}$$

$$= 13,26 \text{ m} = 1326 \text{ cm}$$

$$w = 0,171 \times 13,26 = 0,8 \text{ ton}$$

$$= 8000 \text{ kg}$$

$$g = 980 \text{ cm/s}^2$$

$$\omega t = 1,73 \sqrt{\frac{2100000 \times 66300}{8000 \times 1326^3/980}} = 4,68 \text{ s}^{-1}$$

agar tiang dapat berdiri sendiri maka frekuensi tiang (ωt) harus lebih besar dari frekuensi gelombang (ω).

$$\omega = \frac{1}{6} = 0.17 \text{ s}^{-1}$$

Karena frekuensi tiang (ωt) lebih besar dari frekuensi gelombang (ω), maka tiang aman untuk berdiri sendiri saat pelaksanaan pekerjaan.

2. Perhitungan Poer Tunggal

a. Data Poer

Data Poer

$$h = 60 \text{ cm}$$

$$; d = 8 \text{ cm}$$

$$bx = 100 \text{ cm}$$

$$; D = 3.2 \text{ cm}$$

$$by = 100 \text{ cm}$$

$$; As = 8.04 \text{ cm}$$

Data Bahan

Beton

$$\sigma_{bk} = 350 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = 117 \text{ kg/cm}^2$$

Baja

$$\sigma_{au} = 2780 \text{ kg/cm}^2$$

$$; E_a = 2100000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 1850 \text{ kg/cm}^2$$

$$; E_b = 119733,04 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = \frac{Ea}{Eb} = \frac{2100000}{119733,04} = 17,54$$

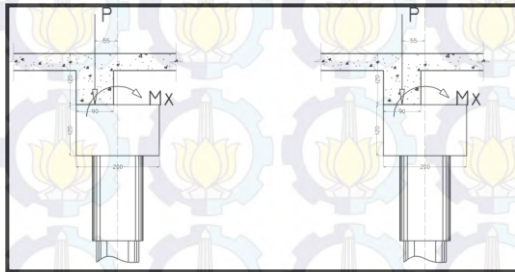
$$\phi_0 = \frac{\sigma' a}{(n \times \sigma' b)} = \frac{1850}{(17.54 \times 115,5)} = 0,913$$

Perhitungan Tinggi Manfaat

$$h_x = h - d - 0.5D = 50,4 \text{ cm}$$

$$h_y = h - d - D - 0.5D = 47,2 \text{ cm}$$

Dari perhitungan program SAP 2000 didapat gaya yang bekerja pada poer, kemudian dengan asumsi pelaksanaan yang sulit maka direncanakan terjadi eksentrisitas pada poer seperti terlihat pada **Gambar 6.18**.



Gambar 6.18 – Eksentrisitas Pada Tiang Pancang

Data gaya yang terjadi pada poer

$$P = 16,357 \text{ ton}$$

$$M = 19,29 \text{ tm}$$

$$e_x = (b - b_{\text{balok}})/2 = 0,2 \text{ m}$$

$$e_y = (b - b_{\text{balok}})/2 = 0,2 \text{ m}$$

$$M_x = P \times e_x + M = 22,565 \text{ tm}$$

$$M_y = P \times e_y + M = 22,565 \text{ tm}$$

b. Penulangan Poer Arah X

$$M_x = 22,565 \text{ tm}$$

$$\phi_0 = 0,913$$

$$Ca = \frac{hx}{\sqrt{\left(\frac{n \times Mx}{b \times \sigma a}\right)}} = \frac{50,4}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \times 22,565}{100 \times 1850}\right)}} = 3,45$$

Dengan nilai $\delta=0$ dan $Ca = 3,45$ dari tabel perhitungan cara “n” didapatkan

$$\Phi = 1,841 > \phi_o \quad \text{OK}$$

$$100n\omega = 9,56$$

$$\text{Maka } \omega = 0,00545$$

- Luas Tulangan Tarik

$$As = \omega b h = 0,00545 \times 60 \times 50,4 = 27,47 \text{ cm}^2$$

$$\text{Maka dipasang D32-24 (As = 32,17 cm}^2\text{)}$$

- Luas Tulangan Samping diambil 10% dari luas tulangan tarik (PBI 1971 9.3.5)

$$Asc = 10\% \times 32,17 = 3,217 \text{ cm}^2$$

$$\text{Dipakai } 2\phi 16 \text{ (As = 4,0192 cm}^2\text{)}$$

c. Penulangan Poer Arah Y

$$Mx = 22,565 \text{ tm}$$

$$\Phi_o = 0,913$$

$$Ca = \frac{hx}{\sqrt{\left(\frac{n \times Mx}{b \times \sigma a}\right)}} = \frac{50,4}{\sqrt{\left(\frac{17,54 \times 22,565}{100 \times 1850}\right)}} = 3,23$$

Dengan nilai $\delta=0$ dan $Ca = 3,23$ dari tabel perhitungan cara “n” didapatkan

$$\Phi = 1,70 > \phi_o \quad \text{OK}$$

$$100n\omega = 10,940$$

$$\text{Maka } \omega = 0,00624$$

- Luas Tulangan Tarik

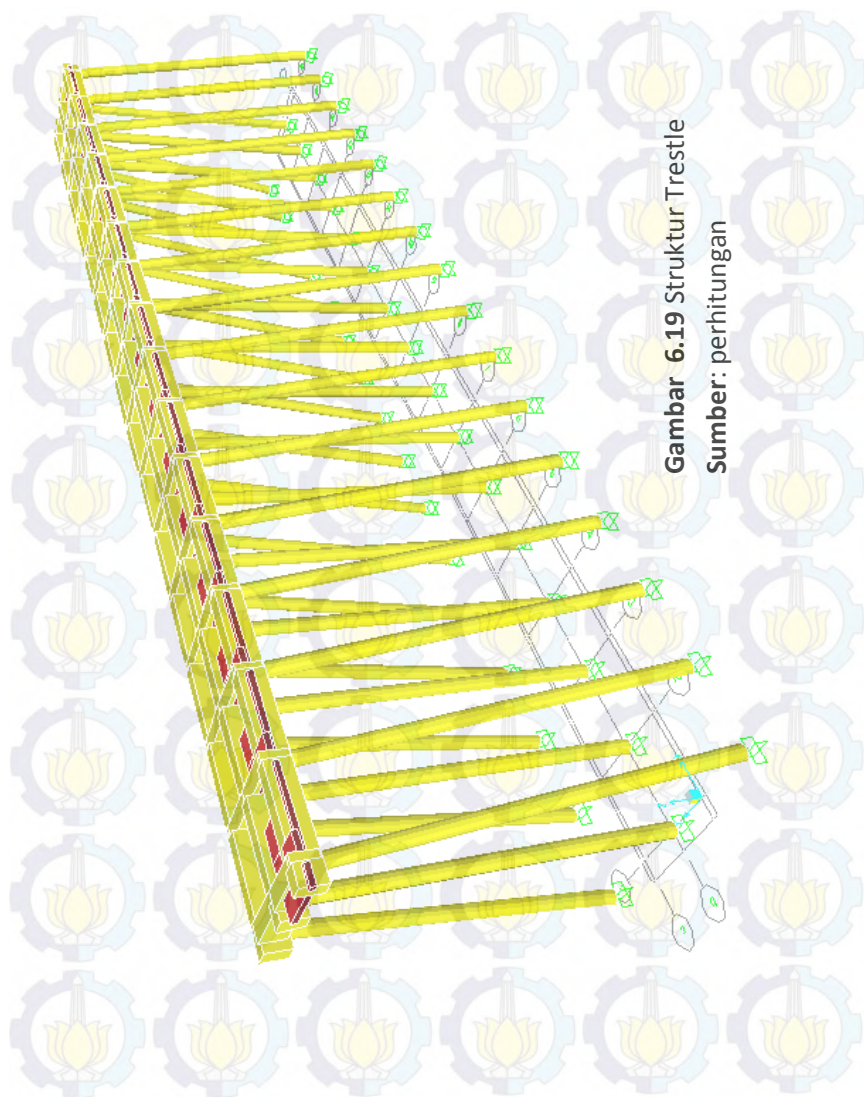
$$As = \omega b h = 0,00624 \times 60 \times 50,4 = 29,44 \text{ m}^2$$

$$\text{Maka dipasang D32-24 (As = 32,17 m}^2\text{)}$$

- Luas Tulangan Samping diambil 10% dari luas tulangan tarik (PBI 1971 9.3.5)

$$Asc = 10\% \times 32,17 = 3,217 \text{ m}^2$$

$$\text{Dipakai } 4\phi 16 \text{ (As = 8,03 m}^2\text{)}$$



Gambar 6.19 Struktur Trestle

Sumber: perhitungan

BAB VII

PERENCANAAN Pengerukan

7.1 Umum

Pengerukan (*dredging*) di pelabuhan dilakukan pada pelaksanaan pembangunan dermaga, kolam putar dan kolam dermaga untuk mendapatkan kedalaman rencana. Pada pembuatan alur dan kolam pelabuhan pengerukan ada 2 macam yaitu pengerukan awal dan pengerukan untuk maintenance pelabuhan.

Pengerukan awal dilakukan dengan memindahkan tanah dasar laut pada kolam pelabuhan sampai mencapai kedalaman kolam pelabuhan yang direncanakan. Kedalaman tersebut tergantung dari jenis kapal rencana yang akan bongkar muat di pelabuhan tersebut. Pengerukan ini mempunyai volume kerukan yang cukup besar bila dibandingkan dengan pengerukan untuk maintenance. Langkah-langkah dalam merencanakan suatu pengerukan yaitu sebagai berikut:

1. Menentukan peralatan yang digunakan
2. Menghitung produktivitas
3. Merencanakan metode Pelaksanaan

7.2 Menentukan Peralatan Pengerukan

Dalam menentukan peralatan yang digunakan dalam pengerukan ada beberapa hal yang diperhatikan. Beberapa hal yang menjadi pertimbangan perencanaan adalah:

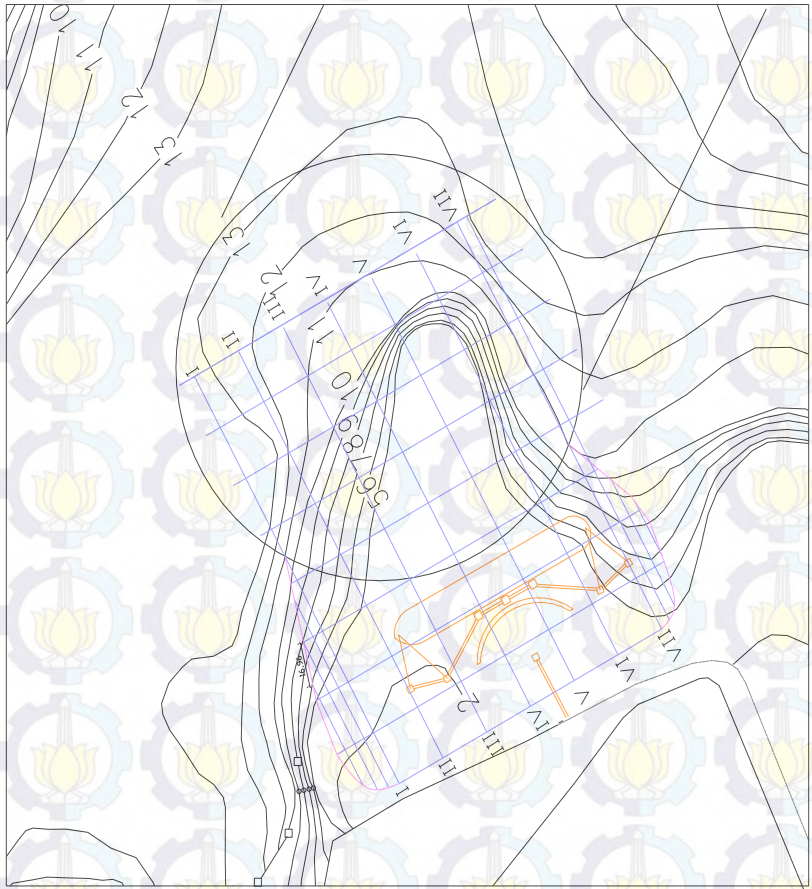
1. Volume pekerjaan
2. Jenis material
3. Kedalaman perairan
4. Tempat pembuangan material

7.2.1 Perhitungan Volume Material

Pada bab V dijelaskan perbandingan kondisi eksisting dengan kebutuhan fasilitas dermaga, dimana pada kolam putar dermaga perlu dilakukan adanya pengerukan mengingat

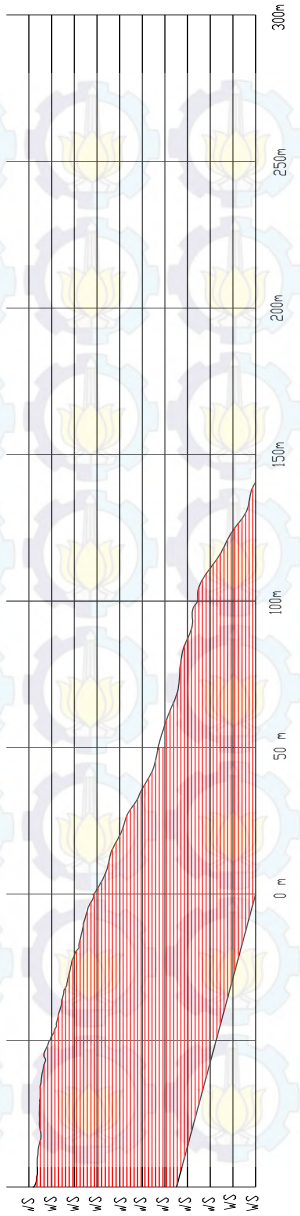
kebutuhan kedalaman nominal kapal 30000 DWT yaitu - 11.00mLWS sedangkan kolam putar yang ada mencapai kedalaman -2.500 mLWS. Layout pengerukan dapat dilihat secara jelas pada **Gambar 7.1**.

Untuk menentukan volume pengerukan ini bisa dilakukan dengan membagi areal kolam pelabuhan menjadi beberapa pias. Setiap pias dibuatkan cross sectionnya agar mempermudah menghitung volume kerukan. Volume pengerukan total adalah total akumulasi dari volume seluruh pias yang ada. Potongan melintang tiap-tiap pias dapat dilihat pada **Gambar 7.2** dan total volume material yang harus dikeruk disajikan pada **Tabel 7.1-7.2**.

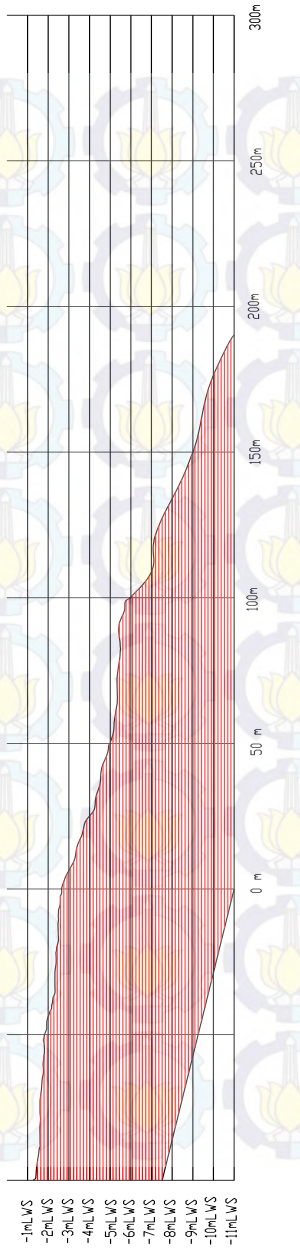


Gambar 7.1 – Layout Pengerukan

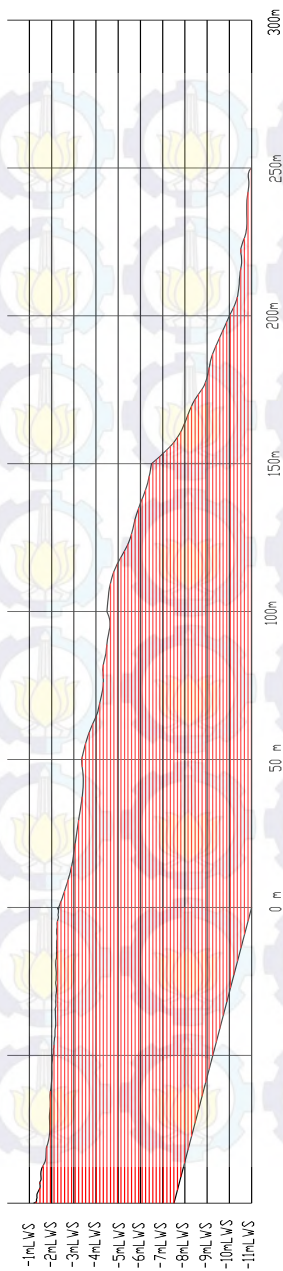
potongan I-I



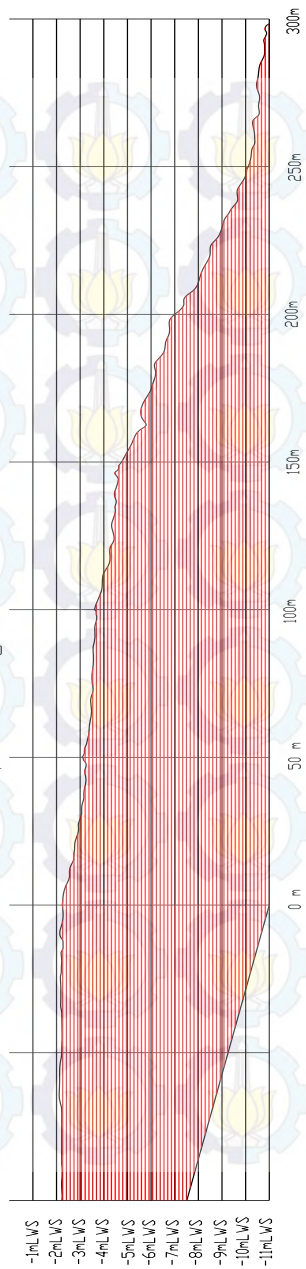
potongan II-II

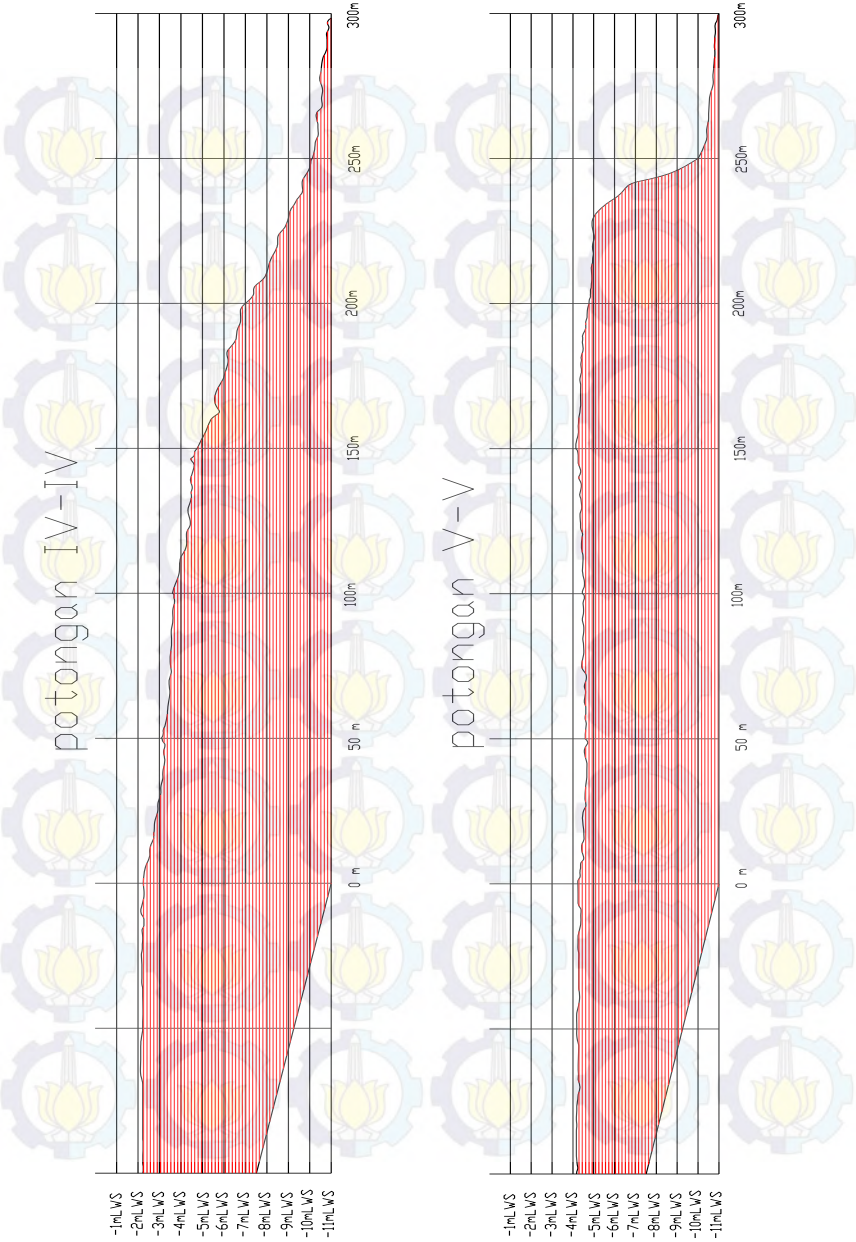


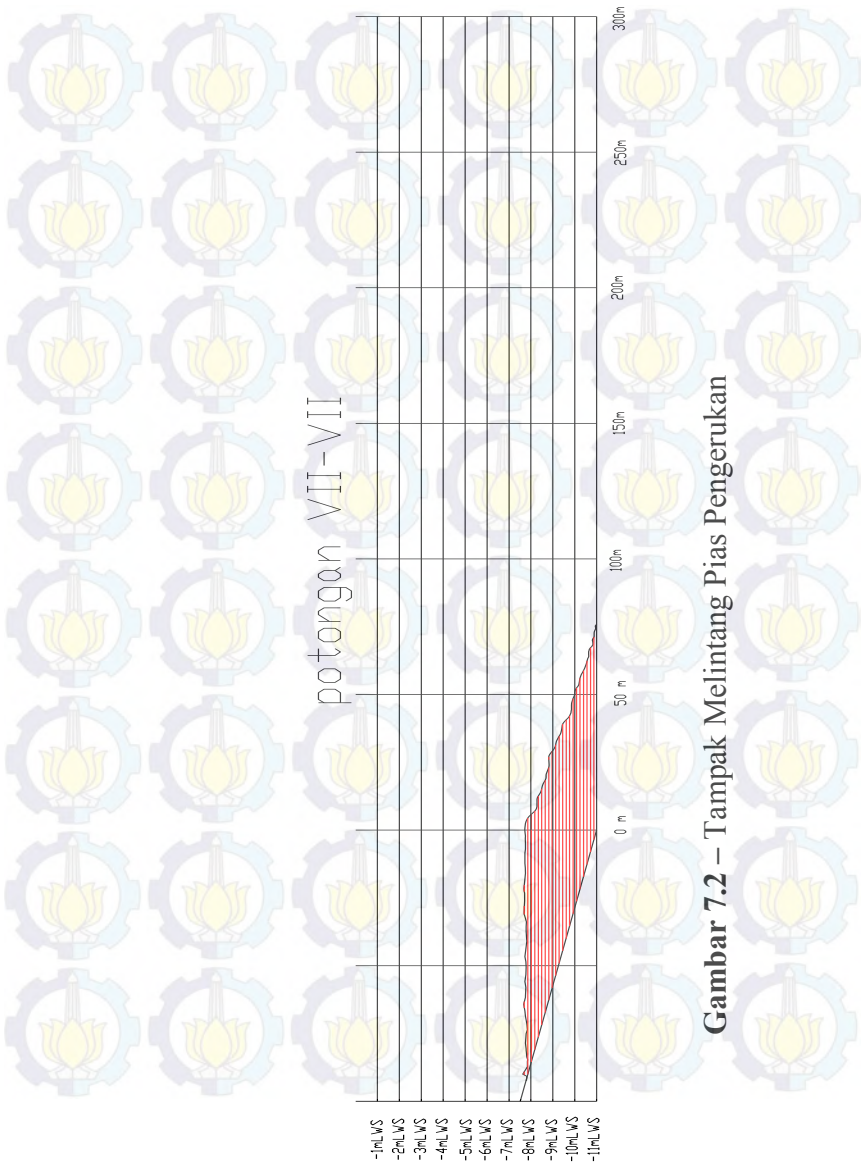
potongan III-III



potongan IV-IV







Gambar 7.2 – Tampak Melintang Pias Pengukuran

Untuk mendapatkan volume pengerukan maka menggunakan persamaan, dimana ΔL sebesar 50 m. Maka kebutuhan pengerukan dapat dilihat pada **Tabel 7.1**

Tabel 7.1 Kebutuhan Pengerukan

Pot I-I				Pot II-II				Pot III-III			
-mLWS	-mLWS	X	Luas (m ²)	-mLWS	-mLWS	X	Luas (m ²)	-mLWS	-mLWS	X	Luas (m ²)
1.2	2	50.75	341.6845	1.5	1.9	50.75	342.293	1.2	2.1	50.75	338.559
2	3.9	50.75	361.8915	1.9	2.7	50.75	395.194	2.1	2.3	50.75	397.4345
3.9	6.7	50	285.3625	2.7	4.9	50	358.979	2.3	3.4	50	408.3025
6.7	8.5	50	171.4705	4.9	6	50	275.7725	3.4	4.6	50	353.977
8.5	11	40.55	51.815	6	9.2	50	175.862	4.6	6.5	50	275.2405
				9.2	11	40.2	40.2145	6.5	10	50	137.5705
								10	11	50	25
Luas total (m ²)			1212.224	Luas total (m ²)			1588.315	Luas total (m ²)			1936.084

Pot IV-IV				Pot V-V				Pot VI-VI			
-mLWS	-mLWS	X	Luas (m ²)	-mLWS	-mLWS	X	Luas (m ²)	-mLWS	-mLWS	X	Luas (m ²)
2.3	2.3	50.75	308.3275	4.2	4.2	50.75	210.415	2.3	2.3	50.75	184.6325
2.3	2.3	50.75	394.4645	4.2	4.2	50.75	295.53	2.3	2.3	50.75	271.795
2.3	3.1	50	416.886	4.2	4.5	50	329.176	2.3	3.1	50	278.0385
3.1	3.7	50	382.89	4.5	4.4	50	323.7905	3.1	3.7	50	217.884
3.7	4.6	50	341.1315	4.4	4.2	50	335.073	3.7	4.8	50	215.622
4.6	7	50	256.221	4.2	4.7	50	327.168	4.8	7	50	274.565
7	10.2	50	122.064	4.7	10	50	180.706	7	10.4	50	201.228
10.2	11	48.4	21.358	10	11	50	25	10.4	11	46.55	42.8545
Luas total (m ²)			2243.343	Luas total (m ²)			2026.859	Luas total (m ²)			1686.62

Pot VII-VII			
-mLWS	-mLWS	X	Luas (m ²)
2	2	50.75	31.423
2	2	50.75	118.8755
7.5	10	50	106.906
10	11	25.9	12.9485
Luas total (m ²)			270.153

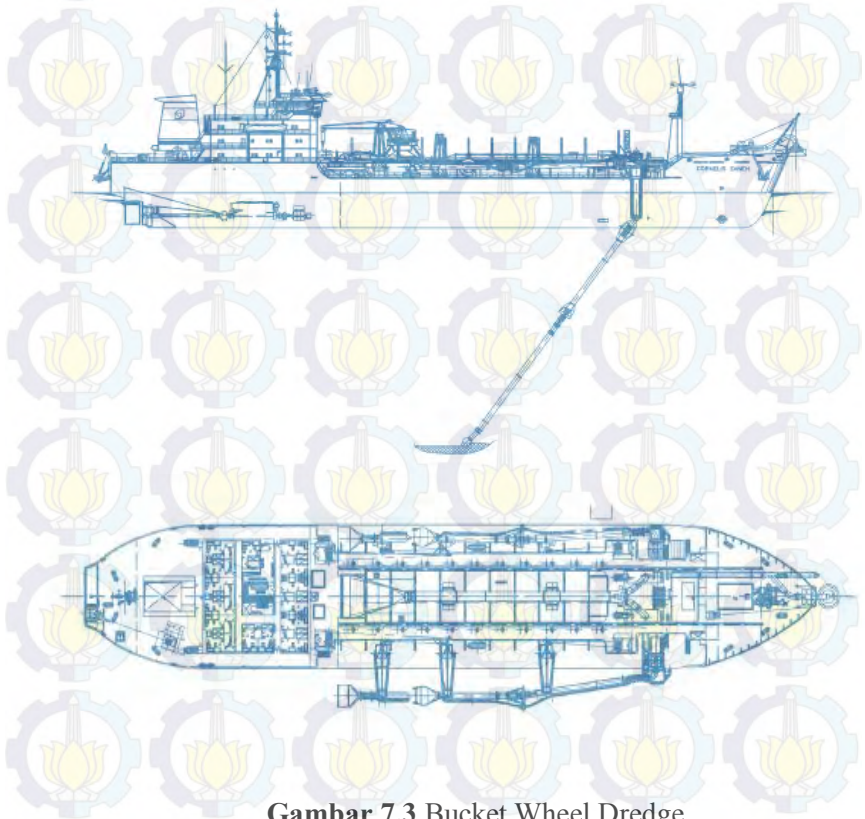
Sumber: perhitungan

Tabel 7.2 Kebutuhan Volume Pengerukan

Potongan	A(m ²)	Arata-rata	Jarak (m ²)	Volume
I-I	1212.224			
II-II	1588.315	1400.2695	50	70013.475
III-III	1936.084	1762.1995	50	88109.975
IV-IV	2243.343	2089.71325	50	104485.66
V-V	2026.859	2135.1005	50	106755.03
VI-VI	1686.62	1856.739	50	92836.95
VII-VII	270.153	978.38625	50	48919.313
Volume total pengerukan (m ³)				511120.4

Dengan demikian volume pengerukan awal yang diperlukan adalah sebesar 511120,4 m³. Karena tanah bisa memuai (swelling) koefisien tanah untuk lempung adalah 1,07. Volume total galian = $1,07 \times 511120,4 \text{ m}^3 = 546898,828 \text{ m}^3$.

Tanah yang ada di daerah lokasi pengerukan merupakan tanah lempung, sehingga alat keruk yang digunakan adalah alat keruk mekanik. Alat keruk tersebut bertipe bucket wheel dredge. Bucket-wheel dredge identik dengan cutter suction dredge, kecuali pada bucket wheel menggunakan wheel excavator, dan pada cutter suction menggunakan rotary cutter. Alat ini bekerja dari arah yang dalam ke dangkal jadi kapal selalu berada di perairan yang belum di keruk.



Gambar 7.3 Bucket Wheel Dredge
Sumber: aucklandshipbrokers.com

Tabel 7.3 Spesifikasi Alat Keruk

Gross tonnage	9616 ton
Length overall	130 m
Breadth	23 m
Max. Draught dredging load line	7,5 m
Hopper Capacity	8,530 m3

Sumber: aucklandshipbrokers.com

7.2.2 Jenis Material

Dari data stratigrafi tanah diketahui bahwa sampai kedalaman -17.00 m dari river bed jenis tanah pada perairan Bontang ini adalah tanah lempung. Pemilihan arat keruk ini adalah karena kemudahan pelaksanaan dan mempersingkat waktu pelaksanaan.

7.2.3 Kedalaman Perairan

Pekerjaan pengerukan dilakukan pada areal kolam putar dan area kolam dermaga rencana. Dari data yang ada, diketahui kedalaman perairan adalah dari -2,500 mLWS. Dikarenakan perairan sangat dangkal, maka kapal keruk akan mengeruk dari tempat yang dalam menuju ke tempat yang dangkal sehingga kapal keruk selalu berada di perairan yang dalam.

7.2.4 Tempat Pembuangan Material

Material hasil kerukan tidak digunakan untuk material reklamasi, melainkan dibuang pada lokasi yang tidak memungkinkan kembali ke lokasi kerukan dan tidak menyebabkan kerusakan lingkungan maupun gangguan bagi lalu lintas perairan. Lokasi yang cocok untuk tempat pembuangan material hasil kerukan pada lokasi ini adalah perairan yang dalam atau diletakkan pada tepi daratan terdekat.

7.3 Produktivitas Alat Keruk

Produktivitas dihitung dengan satuan m³/jam. Urutan perhitungan produktivitas dari proses pengerukan adalah:

1. Produktivitas kapal keruk
2. Produktivitas barge
3. Waktu pengerukan

7.3.1 Produktivitas Kapal Keruk

Produktivitas alat telah dibuat berdasarkan spesifikasi kemampuan mesin dan keseluruhan bagian peralatan. Kedalaman pengerukan bervariasi berdasar kemampuan mesinnya. Bila dipilih alat keruk dengan dredging capacity in clay conditions 8530 m³ per dayshift selama 10 jam. Maka dengan volume yang harus dikeruk adalah 546898,828 m³. Jika dianggap dalam sehari kapal keruk beroperasi selama 10 jam, maka produktivitas kapal keruk adalah:

$546898,828 \text{ m}^3 : 6500 \text{ m}^3 = 64,11 \text{ hari} \approx 65 \text{ hari}$
Jika dianggap dalam satu minggu kapal direncanakan ada 5 hari kerja, maka pengerukan akan selesai dilakukan dalam waktu 13 minggu atau 3 bulan 1 minggu.

BAB VIII

METODE PELAKSANAAN

8.1 Umum

Dalam bab metode pelaksanaan ini, akan direncanakan metode pelaksanaan dari hasil perencanaan pada bab-bab sebelumnya yang meliputi:

1. Metode pelaksanaan pengerukan kolam dermaga dan turning basin
2. Metode pelaksanaan Struktur Utama (Loading Platform, Trestle, Pivot, Mooring dan Breasting Dolphin)
3. Metode pelaksanaan Catwalk

Sebelum pelaksanaan suatu proyek dapat dilakukan, perlu diadakan beberapa pekerjaan persiapan. Pekerjaan-pekerjaan itu meliputi:

- Pembersihan lokasi proyek
- Pengukuran lokasi proyek, bouwplank, dan pagar proyek
- Penyediaan direksi kit atau kantor proyek
- Penyediaan gudang serta lapangan penumpukan material dan peralatan
- Penyediaan pos keamanan

8.2 Metode Pelaksanaan Pengerukan

Sesuai dengan pembahasan pada pengerukan yang dilakukan pada berthing area dermaga menggunakan kapal keruk tipe Trailing Suction Hopper Dredger (TSHD). Pelaksanaan pengerukan dapat diurutkan sebagai berikut:

- 1) Pra-survey pengerukan (predredged sounding)
- 2) Proses pengerukan (dredging)
- 3) Proses pengangkutan ke wilayah pembuangan (dump site)

8.2.1 Prasurvey Pengerukan

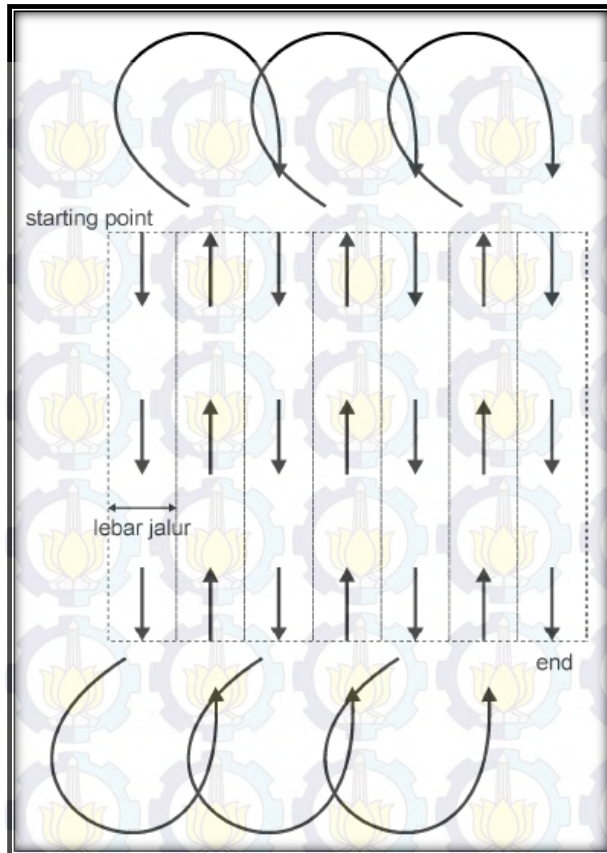
Sebelum memulai pekerjaan pengerukan harus dilakukan survey awal terlebih dahulu. Survey ini dilakukan untuk mendapatkan kondisi awal areal dan juga

untuk mengantisipasi bahwa areal yang akan dikeruk tidak ada barang – barang yang berbahaya. Untuk menentukan kontur kedalaman areal pengerukan yang nantinya digunakan untuk perhitungan volume pengerukan digunakan alat yang disebut echosounder.

8.2.2 Proses Pengerukan

Proses pengerukan menggunakan kapal keruk tipe TSHD dengan self propelled hopper barge. Pada proses pengerukan, pertama tama kapal keruk menurunkan draghead yang digunakan untuk menghisap slurry. Selanjutnya kecepatan kapal diturunkan berkisar antara 1.5 – 3 knot. Material dihisap dengan pompa kemudian ditampung di hopper yang ada di kapal.

Pengerukan dilakukan menurut alur-alur yang telah direncanakan. Alur-alur ini direncanakan selebar badan kapal sehingga didapatkan jumlah lintasan yang diperlukan. Pada saat berubah arah, perlu diperhatikan ruang yang diperlukan untuk maneuver kapal. Ilustrasi dari lay out pengerukan ditunjukkan oleh **Gambar 10.8**. Pada proses pengerukan juga dilakukan pengukuran kedalaman dengan menggunakan echo-sounding untuk mengetahui kedalaman perairan setelah dikeruk.



Gambar 8.1 – Ilustrasi Alur Pengerukan

8.2.3 Survey Setelah Pengerukan

Setelah keseluruhan pengerukan diperkirakan selesai harus dilakukan survey pada areal pengerukan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah pekerjaan pengerukan yang dilakukan sudah sesuai dengan yang direncanakan.

8.3 Metode Pelaksanaan Struktur Utama

Dalam pelaksanaan struktur Jetty, perencanaan dibagi menjadi 3 tahap:

- Tahap prakonstruksi
- Tahap konstruksi
- Tahap pasca konstruksi

8.3.1 Tahap Prakonstruksi

Sebelum tahap konstruksi dilaksanakan, terlebih dahulu dilakukan pekerjaan persiapan diantaranya:

1. Pembersihan

Lahan proyek dan lahan di sekitar proyek yang telah dibebaskan dari hal – hal yang akan mengganggu jalannya proyek secara keseluruhan.

2. Pengadaan Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang akan digunakan pada masing-masing pekerjaan konstruksi akan dibahas pada subbab tersendiri.

8.3.2 Tahap Konstruksi

1. Pemancangan Tiang Pancang

- a. Bahan

- Tiang pancang diameter 508 mm (untuk trestle)
- Tiang pancang diameter 812,8 mm (untuk pivot, loading platform, mooring dan breasting dolphin)
- Beton dengan spesifikasi mutu pada bab kriteria design.
- Baja tulangan dengan spesifikasi mutu pada bab kriteria design.

- b. Alat

- Hydraulic hammer dengan kapasitas 14 ton (1 unit)
- Berfungsi untuk memukul tiang pancang.

- Crawler crane kapasitas 35 ton (1 unit)
Berfungsi untuk mengangkat tiang pancang dari ponton ke guidance box.



Gambar 8.2 Crawler Crane

- Ponton Pancang 180 ft (1 unit)
Berfungsi sebagai pengangkut tiang pancang dari darat ke laut dan digunakan sebagai tempat penumpukan sementara di laut ketika pemancangan sedang dilaksanakan.
 - Ponton Langsir 180 ft (1 unit) yang digunakan sebagai tempat crawler crane dan tempat hydraulic hammer.
- c. Metode Pelaksanaan
1. Pengangkutan semua alat dan bahan dari darat ke laut.
Tiang pancang diangkut dari darat menuju ke laut dengan menggunakan ponton langsir yang ditarik dengan tug boat.

2. Tiang pancang diangkat menuju guidance box.
Ujung dari tiang pancang yang berada di buritan kapal ponton diikat kuat kemudian diangkat perlahan-lahan menuju guidance box dengan menggunakan crawler crane sehingga saat diangkat posisi dari tiang pancang adalah vertikal.
3. Tiang pancang diatur posisi koordinatnya menggunakan guidance box.
Guidance box adalah alat yang dapat bergerak 2 arah secara horizontal (depan-belakang, kanan-kiri) untuk menggerakkan tiang pancang agar tepat berada pada koordinat pemancangan. Untuk menentukan ketepatan titik pemancangan, digunakan total station. Tiang pancang masih dalam keadaan terikat dengan crawler crane sampai tiang pancang sudah tepat berada pada titik pemancangan.
4. Tiang pancang dipancang menggunakan hammer hydraulic.
Setelah tiang pancang sudah berada tepat di posisi pemancangan, crawler crane melepaskan tiang pancang dan ganti mengangkat hammer kapasitas 14 ton menuju kepala tiang pancang. Setelah hammer sudah siap berada di kepala tiang pancang, hammer mulai bekerja. Hammer tetap bekerja sampai ujung atas tiang pancang berada sekitar 1 meter dari permukaan kapal ponton. Setelah itu hammer diangkat dan diletakkan kembali ditempat hammer yang berada di sebelah kiri dari guidance box.
5. Tes kalendering.
Setelah tiang pancang berada kira-kira di daerah tanah keras, maka dilakukan tes kalendering yang bertujuan untuk mengetahui apakah daya dukung

tanah sudah memenuhi perencanaan. Ketika tes kalendering belum memenuhi maka pemancangan tetap dilanjutkan sampai tes kalendering memenuhi nilai minimum.

6. Selesai dan mobilisasi.

Proses pemancangan sudah selesai dan pekerjaan pemancangan dapat berpindah ke titik pemancangan yang lain.

2. Pembuatan Poer

a. Bahan

- Beton dengan spesifikasi mutu pada bab kriteria design.
- Baja tulangan dengan spesifikasi mutu pada bab kriteria design.

b. Alat

- Truk readymix.
- Concrete pump.
- Ponton untuk mengangkut truk dan concrete pump ke laut.

c. Metode Pelaksanaan

Pipa yang telah dipancang dipasang dengan tulangan spiral, kemudian dicor sedalam -1mLWS dan diujung tiang pancang dilas tulangan yang berfungsi sebagai tulangan penyaluran (angker) dalam poer, dimana poer nantinya akan dipasang di tiap-tiap ujung tiang pancang.

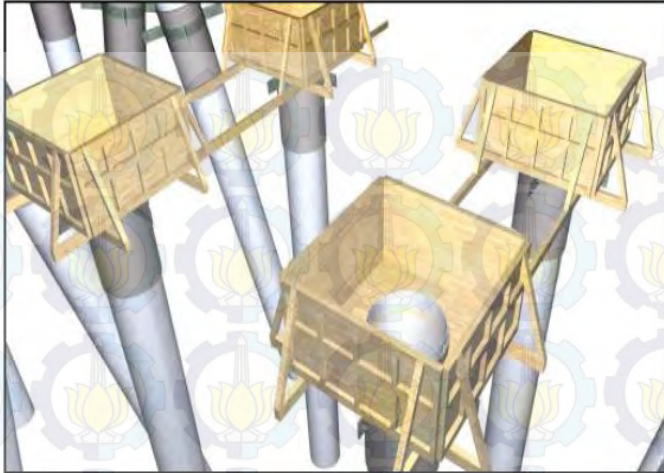
Sebelum merakit bekisting poer, terlebih dahulu dipasang landasan untuk bekisting berupa sabuk pengikat yang dibuat dengan 2 baut untuk tiap pengikatnya pada tiang pancang (Gambar 8.3). Kemudian dipasang balok yang menghubungkan antara tiang satu dengan lainnya baik arah memanjang maupun melintang. Setelah tahapan tersebut selesai kemudian dilanjutkan dengan perakitan bekisting

poer diatas landasan yang telah ada, sesuai dengan ukurannya. Untuk bagian vertikal dari bekisting poer ditopang dengan kayu perancah ke balok yang menghubungkan antar tiang pancang.



Gambar 8.3 Landasan Bekisting Poer

Setelah proses pemasangan bekisting poer, dilakukan pemasangan tulangan beton pengisi tiang dan tulangan poer. Pengecoran dilakukan sekaligus sehingga antara beton pengisi tiang dan poer monolit. Bekisting poer dapat menggunakan kayu. Bekisting harus dikerjakan dengan teliti dan lurus, dan juga hubungan antar papan bekisting harus rapat agar adukan beton tidak merembes keluar. Bekisting untuk dasar poer dipasang terlebih dulu, sedangkan bekisting pada sisi-sisi poer dipasang setelah tulangan poer terpasang, dimana sebelumnya tulangan poer telah dirangkai terlebih dahulu di workshop. Untuk menyangga bekisting sisi-sisi poer, dapat digunakan penyangga yang dihubungkan dengan balok kayu horisontal yang dipasang di atas landasan bekisting. Gambar bekisting poer dapat dilihat pada Gambar 8.4.



Gambar 8.4 Pemasangan Bekisting Poer

3. Pembuatan Balok dan Pelat

a. Bahan

- Beton dengan spesifikasi mutu pada bab kriteria design.
- Baja tulangan dengan spesifikasi mutu pada bab kriteria design.

b. Alat

- Concrete pump.
- Ponton untuk mengangkut truk dan concrete pump ke laut.

c. Metode Pelaksanaan

Langkah-langkah yang dilakukan pada proses pengecoran balok dan pelat adalah bekisting balok memanjang dan melintang dipasang sesuai dengan ukuran rencana dan ditopang dengan kayu ke landasan yang telah terpasang pada langkah sebelumnya. Pengecoran dilakukan monolit dengan

pelat dermaga balok. Seperti pada poer, bekisting pada balok dan pelat lantai juga dapat dibuat dari kayu, dan pembuatannya harus benar – benar diperhatikan baik itu kelurusan, kekokohan, maupun kerapatannya. Bekisting balok dan pelat ditunjukkan pada Gambar 8.5. Penulangan pada balok dirangkai terlebih dahulu di workshop, sedangkan tulangan pelat lantai dirangkai di tempat. Sewaktu penempatannya di lapangan harus dijaga jarak antara tulangan dengan bekisting untuk mendapatkan tebal selimut minimum 8 cm pada bagian beton yang langsung berhubungan dengan air laut. Khusus pada pelaksanaan Breasting Dolphin dipasang angker untuk fender sedangkan pada Mooring Dolphin dipasang angker boulder. Pemasangan ini harus cukup presisi agar tidak terjadi masalah dalam pemasangan fender dan boulder.



Gambar 8.5 – Pemasangan Bekisting Balok dan Pelat

Ketika semua tulangan selesai terpasang dengan baik pada posisinya, pengecoran dilakukan dengan menuangkan beton readymix ke dalam bekisting dan

dipadatkan dengan vibrator. Pada saat beton dituangkan, tinggi jatuh beton readymix tidak lebih dari 1 m, hal ini untuk menghindari agar jatuhnya beton tersebut tidak membuat bekisting rusak.

Pengecoran dilakukan secara menerus dan hanya boleh berhenti di tempat-tempat yang dianggap aman dan telah direncanakan sebelumnya. Bila pengecoran dihentikan, dan kemudian akan disambung lagi, maka pengecoran sebelumnya harus dibersihkan permukaannya dan dibuat kasar agar hasil pengecoran yang baru bisa melekat sempurna dengan permukaan yang lama. Sebelum pengecoran yang baru dilakukan, permukaan yang akan disambung harus disiram dengan air semen 1 PC : 0,45 air, kemudian permukaan sambungan dilapisi dengan lem beton dan dicor kembali.

Selama waktu pengerasan, beton harus dilindungi dengan air bersih atau ditutup dengan karung basah (curing) terus menerus selama paling tidak 10 hari setelah pengecoran. Pembongkaran bekisting beton tidak boleh dilakukan sebelum waktu pengerasan menurut PBI 1971 dipenuhi dan pembongkarannya dilakukan hati-hati agar jangan sampai merusak beton yang sudah mengeras.

8.3.3 Tahap Pascakonstruksi

1. Pemasangan Fender

Proses pemasangan fender adalah sebagai berikut setelah beton mengeras dengan sempurna, angker fender yang telah tertanam pada saat pengecoran dibersihkan dan fender ditempatkan pada posisinya lalu dipasangkan angkernya dan dibaut.

2. Pemasangan Boulder

Proses pemasangan boulder sama seperti pada fender yaitu setelah beton mengeras dengan sempurna,

angker yang sudah tertanam pada saat pengecoran dibersihkan dan boulder dipasangkan pada posisinya kemudian dicor setempat dan dibaut.

3. Pemasangan Utilitas

Dalam tugas akhir ini karena jetty yang direncanakan adalah jetty curah kering, maka utilitas yang digunakan adalah radial shiploader, conveyor belt, dan lampu dermaga.

8.4 Metode Pelaksanaan Catwalk

Dalam pelaksanaan struktur Catwalk, perencanaan dibagi menjadi 3 tahap:

- Tahap prakonstruksi
- Tahap konstruksi
- Tahap pasca konstruksi

8.4.1 Tahap Prakonstruksi

Tahap prakonstruksi dalam pelaksanaan struktur catwalk yaitu menyiapkan dudukan atau tempat perletakan dari catwalk itu sendiri. Dimana perletakan terbuat dari karet/elastomer yang dipasang di atas struktur dermaga. Setelah dudukan selesai dibuat, didarat sudah dirancang catwalk sepanjang 5 meteran yang nantinya akan disambung di laut.

8.4.2 Tahap Konstruksi

Pada tahap konstruksi ini dilakukan dengan bantuan ponton dan kren serta teodolit. Ponton berfungsi untuk membawa potongan catwalk yang telah dilas di darat, kren berfungsi untuk mengangkat potongan catwalk untuk diletakkan diperletakan dan disambung dengan potongan lainnya. Dalam pemasangannya dibantu dengan theodolit agar lebih presisi.

8.4.3 Tahap Pascakonstruksi

Pada tahap ini, yaitu setelah catwalk selesai dibangun, kemudian dipasang plat untuk injakan kaki serta pegangan tangan pada catwalknya.

Pada tahap ini, yaitu setelah catwalk selesai dibangun, kemudian dipasang plat untuk injakan kaki serta pegangan tangan pada catwalknya.





BAB IX

RENCANA ANGGARAN BIAYA

9.1 Umum

Pada bab Rencana Anggaran Biaya ini dijelaskan mengenai prosedur dan cara dalam analisis biaya keseluruhan pembangunan dermaga. Adapun prosedurnya meliputi:

1. Penentuan harga material dan upah
2. Analisis harga satuan
3. Perhitungan volume pekerjaan dan rencana anggaran biaya

9.2 Harga Material dan Upah

Harga material dan upah diambil dari “Harga Satuan Bahan dan Upah Kerja serta Harga Sewa Peralatan di Bontang tahun 2009”. Berikut ini adalah rincian daftar harga material (Tabel 9.1), daftar harga sewa peralatan (Tabel 9.2) dan daftar harga upah pekerja (Tabel 9.3)

Tabel 9.1 Daftar Harga Material

No.	Jenis Peralatan	Satuan	Harga
A.	Semen, Ready Mix		
1	Semen portland	sak	Rp68,700.00
2	Beton ready mix K350	m3	Rp1,131,200.00
B.	Bahan dan Material Alam		
1	Pasir cor	m3	Rp357,500.00
2	Sirtu	m3	Rp344,000.00
3	Batu pecah	m3	Rp313,700.00
4	Kawat bendrat	kg	Rp20,000.00
5	Besi tulangan 32mm	btg	Rp496,300.00
7	Papan plywood 12 mm	lembar	Rp154,479.00
8	Kayu bekisting	m3	Rp2,850,500.00
9	Paku	kg	Rp20,400.00
10	Wooden plank kelas I	m3	Rp2,500,000.00

No.	Jenis Peralatan	Satuan	Harga
C.	Profil Baja		
1	Steel pile	m'	Rp9,000,000.00
2	Profil hollow 273	m'	Rp5,250,000.00
3	Profil hollow 88,9	m'	Rp3,000,000.00
4	Trasional slab	m3	Rp2,500,000.00
D.	Aksesoris Dermaga		
1	Fender SCN 900 E0.9	buah	Rp45,000,000.00
2	Trelleborg 70 on SBA 1-50	buah	Rp40,000,000.00
3	Conveyor belt	buah	Rp30,000,000.00
4	Radial shiploader	buah	Rp1,800,000,000.00
E.	Lain-lain		
1	Oli	liter	Rp40,000.00
2	Solar	liter	Rp10,030.00
3	Percobaan pembebanan tiang pancang	unit	Rp11,500,000.00
4	Tes beton di laboratorium	Ls	Rp2,000,000.00
5	Pile loading trials	unit	Rp12,000,000.00
6	Proteksi joint densopol 60 HT tape	roll	Rp600,000.00
7	Denso primer D	liter	Rp300,000.00
8	Denso CPT 1000 PVC tape	roll	Rp300,000.00
9	Welding	cm	Rp6,000.00
10	Peralatan las dan genset	jam	Rp170,000.00
11	Grease	liter	Rp26,400,000.00
12	Lubricant	liter	Rp61,000,000.00
13	Mesin las	jam	Rp30,000,000.00
14	Profil C 75 x 45 x 2.3	kg	Rp8,000.00
15	Pelat cincin baja	kg	Rp8,000.00
16	Kawat las	kg	Rp8,000.00

Tabel 9.2 Daftar Harga Sewa Peralatan

No.	Jenis Peralatan	Satuan	Harga
1	Ponton kapasitas 180 ft	jam	Rp375,000.00
2	Flat back truck	jam	Rp298,500.00
3	Achor boat	jam	Rp300,000.00
4	Work boat	jam	Rp60,000.00
5	Generator 75 kV A	jam	Rp70,000.00
6	Mobile Crane 80 ton	jam	Rp800,000.00
7	Concrete vibrator	jam	Rp45,400.00
8	Concrete pump	jam	Rp411,400.00
9	Concrete mixer	jam	Rp89,600.00
10	Pile driver barge	jam	Rp650,000.00
11	Crawler crane	jam	Rp250,000.00
12	Mesin las	jam	Rp30,000.00
13	TSHD	jam	Rp3,400,000.00

Tabel 9.3 Daftar Harga Upah Pekerja

No.	Jenis Pekerja	Satuan	Harga satuan
1	Mandor	org/hari	Rp88,300.00
2	Pekerja	org/hari	Rp65,300.00
3	Kepala tukang	org/hari	Rp85,000.00
4	Tukang	org/hari	Rp61,600.00
5	Operator	org/hari	Rp85,000.00
6	Pembantu operator	org/hari	Rp61,600.00
7	Sopir	org/hari	Rp85,000.00
8	Penyelam	org/hari	Rp70,000.00
9	Tukang las	org/hari	Rp61,600.00
10	Penjaga malam	org/hari	Rp46,666.67

9.3 Analisis Harga Satuan

Analisis harga satuan berisi mengenai harga satuan yang dihabiskan dalam pemenuhan setiap bagian dari pekerjaan, misalnya harga satuan pembuatan beton per m³, harga pembuatan bekisting per m². Analisis harga satuan dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 9.4 Analisis Harga Satuan Per Pekerjaan

No.	Jenis Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga satuan	Jumlah
1	1 m3 beton K-350				
	Bahan				
	Beton ready mix K-350	1	m3	Rp1,131,200.00	Rp1,131,200.00
	Alat				
	Concrete pump	0.3	jam	Rp411,400.00	Rp123,420.00
	Vibrator	0.6	jam	Rp45,400.00	Rp27,240.00
	Upah				
	Mandor	0.3	org/hari	Rp88,300.00	Rp26,490.00
	Pekerja	6	org/hari	Rp65,300.00	Rp391,800.00
	Kepala tukang	0.1	org/hari	Rp85,000.00	Rp8,500.00
	Tukang	1	org/hari	Rp61,600.00	Rp61,600.00
	Biaya 1 m3 beton				Rp1,770,250.00
2	10 m2 Bekisting				
	Bahan				
	Kayu bekisting	0.4	m3	Rp2,850,500.00	Rp1,140,200.00
	Paku	3.5	kg	Rp20,400.00	Rp71,400.00
	Upah				
	Mandor	0.1	org/hari	Rp88,300.00	Rp8,830.00
	Pekerja	6	org/hari	Rp65,300.00	Rp391,800.00
	Kepala tukang	0.5	org/hari	Rp85,000.00	Rp42,500.00
	Tukang kayu	5	org/hari	Rp61,600.00	Rp308,000.00
	Biaya 10 m2 bekisting				Rp1,962,730.00
	Biaya 1 m2 bekisting				Rp196,273.00
3	100 kg pembesian				
	Bahan				
	Besi tulangan	100	kg	Rp39,683.04	Rp3,968,304.28
	Kawat bendrat	2	kg	Rp20,000.00	Rp40,000.00
	Upah				
	Pekerja	6.75	org/hari	Rp65,300.00	Rp440,775.00
	Tukang besi	6.75	org/hari	Rp65,300.00	Rp440,775.00
	Kepala tukang	6.75	org/hari	Rp85,000.00	Rp573,750.00
	Biaya 100 kg pembesian				Rp5,463,604.28
	Biaya 1 kg pembesian				Rp546,360.43

No.	Jenis Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga satuan	Jumlah
4	Perancah (Klem)				
	Bahan				
	Profil C 75 x 45 x 2.3	5.92	kg	Rp8,000.00	Rp47,360.00
	Pelat cincin baja	39.92	kg	Rp8,000.00	Rp319,360.00
	Kawat Las	0.25	kg	Rp8,000.00	Rp2,000.00
	Alat				
	Mesin las	0.0045	hari	Rp30,000.00	Rp135.00
	Upah				
	Mandor	0.1	org/hari	Rp65,300.00	Rp6,530.00
	Pekerja	0.001	org/hari	Rp65,300.00	Rp65.30
	Kepala tukang	2	org/hari	Rp85,000.00	Rp170,000.00
	Biaya perancah				Rp545,450.30
5	1 m3 Beton Bertulang				
	Poer, balok, pelat				
	Beton	1	m3	Rp1,131,200.00	Rp1,131,200.00
	Besi Beton	75.4	kg	Rp39,683.04	Rp2,992,101.43
	Bekisting	4	m2	Rp2,850,500.00	Rp11,402,000.00
	Peralatan	1	set	Rp89,600.00	Rp89,600.00
	Perancah	1	buah	Rp430,000.00	Rp430,000.00
	Biaya poer				Rp16,044,901.43
	Pengisi Tiang Pancang				
	Beton	1	m3	Rp1,131,200.00	Rp1,131,200.00
	Besi beton	289.3	kg	Rp39,683.04	Rp11,480,304.28
	Peralatan	1	set	Rp89,600.00	Rp89,600.00
	Biaya isian tiang pancang				Rp12,701,104.28
	Plank fender				
	Beton	1	m3	Rp1,131,200.00	Rp1,131,200.00
	Besi Beton	100	kg	Rp39,683.04	Rp3,968,304.28
	Bekisting	1	m2	Rp89,600.00	Rp89,600.00
	Peralatan	1	set	Rp89,600.00	Rp89,600.00
	Biaya plank fender				Rp5,278,704.28

No.	Jenis Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga satuan	Jumlah
6	Pemancangan Tiang				
	Alat				
	Ponton kapasitas 1000 ton	8	jam	Rp375,000.00	Rp3,000,000.00
	Anchor boat	8	jam	Rp300,000.00	Rp2,400,000.00
	Work boat	8	jam	Rp60,000.00	Rp480,000.00
	Generator 75 kV A	8	jam	Rp70,000.00	Rp560,000.00
	Alat bantu	1	set	Rp650,000.00	Rp650,000.00
	Upah				
	Mandor	1	org/hari	Rp65,300.00	Rp65,300.00
	Pekerja	8	org/hari	Rp65,300.00	Rp522,400.00
	Operator	6	org/hari	Rp85,000.00	Rp510,000.00
	Pembantu operator	6	org/hari	Rp61,600.00	Rp369,600.00
	Penyelam	3	org/hari	Rp70,000.00	Rp210,000.00
	Jumlah pemancangan per hari				10
	Biaya Pemancangan tiang				Rp876,730.00
7	Penyambungan Tiang Pancang				
	Alat				
	Alat bantu	1	set	Rp200,000.00	Rp200,000.00
	Upah				
	Mandor	0.45	org/hari	Rp65,300.00	Rp29,385.00
	Pekerja	6	org/hari	Rp65,300.00	Rp391,800.00
	Tukang las	2	org/hari	Rp61,600.00	Rp123,200.00
	Biaya penyambungan tiang pancang				Rp744,385.00
8	Pemotongan Tiang Pancang				
	Alat				
	Alat bantu	1	set	Rp200,000.00	Rp200,000.00
	Upah				
	Mandor	0.13	org/hari	Rp65,300.00	Rp8,489.00
	Pekerja	2.83	org/hari	Rp65,300.00	Rp184,799.00
	Tukang las	0.83	org/hari	Rp61,600.00	Rp51,128.00
	Biaya pemotongan tiang pancang				Rp444,416.00
9	Pengangkatan Tiang Pancang				
	Alat				
	Mobile Crane	1.6	hari	Rp250,000.00	Rp400,000.00
	Ponton kapasitas 1000 ton	4	hari	Rp375,000.00	Rp1,500,000.00
	Anchor boat	1.6	hari	Rp300,000.00	Rp480,000.00
	Work boat	0.8	hari	Rp60,000.00	Rp48,000.00
	Upah				
	Mandor	1	org/hari	Rp65,300.00	Rp65,300.00
	Operator	5	org/hari	Rp85,000.00	Rp425,000.00
	Pembantu operator	5	org/hari	Rp61,600.00	Rp308,000.00
	Sopir	3	org/hari	Rp85,000.00	Rp255,000.00
	Jumlah Pengangkatan dalam 1 hari				10
	Biaya Pengangkatan Tiang Pancang				Rp348,130.00

No.	Jenis Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga satuan	Jumlah
10	Pembuatan 1 Buah Sepatu Tiang				
	Pelat baja	100	kg	Rp8,000.00	Rp800,000.00
	Peralatan	1	set	Rp30,000.00	Rp30,000.00
	Upah				
	Mandor	0.45	org/hari	Rp65,300.00	Rp29,385.00
	Pekerja	1	org/hari	Rp65,300.00	Rp65,300.00
	Tukang las	1	org/hari	Rp61,600.00	Rp61,600.00
	Biaya pembuatan 1 buah tiang pancang				Rp986,285.00
11	Pengecatan Perlindungan Korosi				
	Bahan				
	Proteksi joint densopol 60 HT tape	1	roll	Rp600,000.00	Rp600,000.00
	Denso primer D	0.5	liter	Rp300,000.00	Rp150,000.00
	Denso CPT 1000 PVC tape	1	roll	Rp300,000.00	Rp300,000.00
	Upah				
	Pekerja	2	org/hari	Rp65,300.00	Rp130,600.00
	Biaya perlindungan korosi				Rp1,180,600.00
12	Pengelasan Kerangka Baja				
	Alat				
	Las	1	m	Rp600,000.00	Rp600,000.00
	Peralatan Las	1	unit	Rp30,000.00	Rp30,000.00
	Upah				
	Tukang Las	2	org/hari	Rp61,600.00	Rp123,200.00
	Biaya pengelasan kerangka baja				Rp753,200.00
13	Pembelian, pengangkutan, pengecatan tiang				
	Diameter 812 mm, t = 16 mm				
	Steel pile	692	m	Rp9,000,000.00	Rp6,228,000,000.00
	Pengecatan perlindungan korosi	1547.5	m ²	Rp1,180,600.00	Rp1,826,978,500.00
	Solar	160	liter	Rp10,030.00	Rp1,604,800.00
	Lubricant	2	liter	Rp0.00	Rp0.00
	Grease	2	liter	Rp0.00	Rp0.00
	Alat				
	Flat back truck	8	jam	Rp298,500.00	Rp2,388,000.00
	Ponton	8	jam	Rp375,000.00	Rp3,000,000.00
	Upah				
	Sopir	1	org/hari	Rp85,000.00	Rp85,000.00
	Pekerja	2	org/hari	Rp65,300.00	Rp130,600.00
	Pengangkutan tiang per m				Rp8,062,186,900.00
	Diameter 508 mm, t = 14 mm				
	Steel pile	692	m	Rp9,000,000.00	Rp6,228,000,000.00
	Pengecatan perlindungan korosi	1547.5	m ²	Rp1,180,600.00	Rp1,826,978,500.00
	Solar	160	liter	Rp10,030.00	Rp1,604,800.00
	Lubricant	2	liter	Rp0.00	Rp0.00
	Grease	2	liter	Rp0.00	Rp0.00
	Alat				
	Flat back truck	8	jam	Rp298,500.00	Rp2,388,000.00
	Ponton	8	jam	Rp375,000.00	Rp3,000,000.00
	Upah				
	Sopir	1	org/hari	Rp85,000.00	Rp85,000.00
	Pekerja	2	org/hari	Rp65,300.00	Rp130,600.00
	Pengangkutan tiang per m				Rp8,062,186,900.00

9.4 Perhitungan Rencana Anggaran Biaya

Dalam perencanaan anggaran biaya ini, tahapan pekerjaan yang dihitung meliputi:

1. Pekerjaan Persiapan
2. Pekerjaan Pengerukan
3. Pekerjaan Radial Loading Platform
4. Pekerjaan Trestle
5. Pekerjaan Pivot
6. Pekerjaan Mooring Dolphin
7. Pekerjaan Breasting Dolphin
8. Pekerjaan Catwalk

Berikut ini adalah rincian kebutuhan biaya tiap pekerjaan yang dilakukan (**Tabel 9.5** sampai **Tabel 9.12**) dan rekapitulasi anggaran biaya seluruh pekerjaan (**Tabel 9.13**).

Tabel 9.5 Pekerjaan Persiapan

No.	Uraian	Volume	Satuan	Harga satuan	Jumlah
1	Pembersihan lahan	1	ls	Rp15,000,000.00	Rp15,000,000.00
2	Pengukuran dan pemasangan bouwplank	1	ls	Rp26,000,000.00	Rp26,000,000.00
3	Mobilisasi dan demobilisasi	1	ls	Rp1,000,000.00	Rp1,000,000.00
4	Administrasi dan dokumentasi	1	ls	Rp5,000,000.00	Rp5,000,000.00
5	Direksi keet	1	ls	Rp1,595,500.00	Rp1,595,500.00
Total					Rp48,595,500.00

Tabel 9.6 Pekerjaan Pengerukan

No	Uraian	Volume	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
1	Mobilisasi				
	TSHD	650	jam	Rp3,400,000.00	Rp2,210,000,000.00
2	Instalasi				
	Site installation	1		Rp600,000,000.00	Rp600,000,000.00
	In-survey	1		Rp600,000,000.00	Rp600,000,000.00
3	Dredging				
	Inner Channel clay	511120	m3	Rp100,000.00	Rp51,112,000,000.00
4	Clearing				
	Site clearing	1		Rp360,000,000.00	Rp360,000,000.00
	Out-survey	1		Rp180,000,000.00	Rp180,000,000.00
Total					Rp55,062,000,000.00

Tabel 9.7 Pekerjaan Radial Loading Platform

No	Uraian	Volume	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
1	Pengadaan dan pengangkutan tiang 812,8 mm (21 m x 14 titik)	294	m'	Rp9,000,000.00	Rp2,646,000,000.00
2	Pengangkatan tiang	14	titik	Rp348,130.00	Rp4,873,820.00
3	Pembuatan sepatu tiang	14	titik	Rp986,285.00	Rp13,807,990.00
4	Pemancangan tiang	14	titik	Rp876,730.00	Rp12,274,220.00
5	Penyambungan tiang	14	titik	Rp744,385.00	Rp10,421,390.00
6	Pemotongan tiang	14	titik	Rp444,416.00	Rp6,221,824.00
7	Pengisian tiang pancang	14	titik	Rp12,701,104.28	Rp177,815,459.90
8	Poer ganda (200 x 250 x 60)	7	titik	Rp16,044,901.43	Rp336,942,929.95
9	Pile loading trials	2	titik	Rp11,500,000.00	Rp23,000,000.00
10	Tes beton di laboratorium	2	titik	Rp2,000,000.00	Rp4,000,000.00
11	Balok memanjang (60 x 90 x 250)	6	buah	Rp16,044,901.43	Rp129,963,701.55
12	Radial loading arm shiploader	1	buah	Rp1,800,000,000.00	Rp1,800,000,000.00
Total					Rp5,165,321,335.41

Tabel 9.8 Pekerjaan Trestle

No	Uraian	Volume	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
1	Pengadaan dan pengangkutan tiang 508 mm (12,5 m x 45 titik)	562.5	m'	Rp9,000,000.00	Rp5,062,500,000.00
2	Pengangkatan tiang	45	titik	Rp348,130.00	Rp15,665,850.00
3	Pembuatan sepatu tiang	45	titik	Rp986,285.00	Rp44,382,825.00
4	Pemancangan tiang	45	titik	Rp876,730.00	Rp39,452,850.00
5	Penyambungan tiang	45	titik	Rp744,385.00	Rp33,497,325.00
6	Pemotongan tiang	45	titik	Rp444,416.00	Rp19,998,720.00
7	Pengisian tiang pancang	45	titik	Rp12,701,104.28	Rp571,549,692.55
8	Poer tunggal (1 x 1 x 1)	45	titik	Rp16,044,901.43	Rp722,020,564.18
9	Pile loading trials	3	titik	Rp11,500,000.00	Rp34,500,000.00
10	Tes beton di laboratorium	3	titik	Rp2,000,000.00	Rp6,000,000.00
11	Balok melintang (60 x 90 x 2)	32	buah	Rp16,044,901.43	Rp554,511,793.29
12	Balok memanjang (60 x 90 x 2)	45	buah	Rp16,044,901.43	Rp779,782,209.32
13	Pelat (2 x 3 x 0,2)	30	buah	Rp16,044,901.43	Rp577,616,451.35
14	Conveyor belt	1	set	Rp30,000,000.00	Rp30,000,000.00
Total					Rp8,491,478,280.69

Tabel 9.9 Pekerjaan Pivot

No	Uraian	Volume	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
1	Pengadaan dan pengangkutan tiang 812,8	60	m'	Rp9,000,000.00	Rp540,000,000.00
2	Pengangkatan tiang	15	titik	Rp348,130.00	Rp5,221,950.00
3	Pembuatan sepatu tiang	15	titik	Rp986,285.00	Rp14,794,275.00
4	Pemancangan tiang	15	titik	Rp876,730.00	Rp13,150,950.00
5	Penyambungan tiang	15	titik	Rp744,385.00	Rp11,165,775.00
6	Pemotongan tiang	15	titik	Rp444,416.00	Rp6,666,240.00
7	Pengisian tiang pancang	15	titik	Rp12,701,104.28	Rp190,516,564.18
8	Poer ganda (3,2 x 3,2 x 1,2)	1	titik	Rp16,044,901.43	Rp197,159,748.73
9	Pile loading trials	1	titik	Rp11,500,000.00	Rp11,500,000.00
10	Tes beton di laboratorium	1	titik	Rp2,000,000.00	Rp2,000,000.00
Total					Rp992,175,502.91

Tabel 9. 10 Pekerjaan Mooring Dolphin

No	Uraian	Volume	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
1	Pengadaan dan pengangkutan tiang 812,8 mm	88	m'	Rp9,000,000.00	Rp792,000,000.00
2	Pengangkatan tiang	4	titik	Rp348,130.00	Rp1,392,520.00
3	Pembuatan sepatu tiang	4	titik	Rp986,285.00	Rp3,945,140.00
4	Pemancangan tiang	4	titik	Rp876,730.00	Rp3,506,920.00
5	Penyambungan tiang	4	titik	Rp744,385.00	Rp2,977,540.00
6	Pemotongan tiang	4	titik	Rp444,416.00	Rp1,777,664.00
7	Pengisian tiang pancang	4	titik	Rp12,701,104.28	Rp50,804,417.12
8	Poer ganda (5,6 x 5,6 x 1,2)	1	titik	Rp16,044,901.43	Rp603,801,730.47
9	Pile loading trials	2	titik	Rp11,500,000.00	Rp23,000,000.00
10	Tes beton di laboratorium	1	titik	Rp2,000,000.00	Rp2,000,000.00
11	Trelleborg 70 ton SBA 1-50	1	buah	Rp40,000,000.00	Rp40,000,000.00
Total 1 buah mooring dolphin					Rp1,525,205,931.59
Total 4 buah mooring dolphin					Rp6,100,823,726.36

Tabel 9.11 Pekerjaan Breasting Dolphin

No	Uraian	Volume	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
1	Pengadaan dan pengangkutan tiang 812,8 mm (25 m x 8 titik)	200	m'	Rp9,000,000.00	Rp1,800,000,000.00
2	Pengangkatan tiang	8 titik		Rp348,130.00	Rp2,785,040.00
3	Pembuatan sepatu tiang	8 titik		Rp986,285.00	Rp7,890,280.00
4	Pemancangan tiang	8 titik		Rp876,730.00	Rp7,013,840.00
5	Penyambungan tiang	8 titik		Rp744,385.00	Rp5,955,080.00
6	Pemotongan tiang	8 titik		Rp444,416.00	Rp3,555,328.00
7	Pengisian tiang pancang	8 titik		Rp12,701,104.28	Rp101,608,834.23
8	Poer ganda (5,6 x 6,4 x 1,2)	1 titik		Rp16,044,901.43	Rp690,059,120.54
9	Pile loading trials	2 titik		Rp11,500,000.00	Rp23,000,000.00
10	Tes beton di laboratorium	1 titik		Rp2,000,000.00	Rp2,000,000.00
11	Fender	1 buah		Rp45,000,000.00	Rp45,000,000.00
12	Plank fender	1 buah		Rp5,278,704.28	Rp5,278,704.28
Total 1 buah breasting dolphin					Rp2,694,146,227.05
Total 4 buah breasting dolphin					Rp10,776,584,908.21

Tabel 9.12 Pekerjaan Catwalk

No	Uraian	Volume	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
1	Balok utama (273mm)	84.29031	m'	Rp5,250,000.00	Rp442,524,144.28
2	Kerangka balok (88.9mm)	14.8972	m'	Rp3,000,000.00	Rp44,691,599.66
3	Pengelasan CHS	10.8	m'	Rp700,000.00	Rp7,560,000.00
4	Transisional Slab	0.912	m'	Rp2,500,000.00	Rp2,280,000.00
5	Hand rail	155	m'	Rp1,300,000.00	Rp201,500,000.00
Total					Rp698,555,743.94

Tabel 9.13 Rekapitulasi Anggaran Biaya

No.	Uraian	Jumlah	Total
1	Pekerjaan persiapan	Rp48,595,500.00	
2	Pekerjaan pengerukan	Rp55,062,000,000.00	Rp55,110,595,500.00
3	Pembuatan trestle	Rp8,491,478,280.69	Rp63,602,073,780.69
4	Pembuatan pivot	Rp992,175,502.91	Rp64,594,249,283.60
5	Pembuatan radial loading platform	Rp5,165,321,335.41	Rp69,759,570,619.01
6	Pembuatan mooring dolphin	Rp6,100,823,726.36	Rp75,860,394,345.38
7	Pembuatan breasting dolphin	Rp10,776,584,908.21	Rp86,636,979,253.59
8	Pembuatan catwalk	Rp698,555,743.94	Rp87,335,534,997.53
Jumlah total			Rp87,335,534,997.53
PPn 10%			Rp8,733,553,499.75
Total + PPn			Rp96,069,088,497.28
Jumlah Akhir			Rp104,802,641,997.03
Jumlah Akhir (dibulatkan)			Rp104,802,642,000.00

Terbilang: seratus empat milyar delapan ratus dua juta enam ratus empat puluh dua ribu rupiah

Jadi, anggaran biaya yang diperlukan adalah sebesar Rp. 104.802.642.000,00,-

BAB X

KESIMPULAN

Dalam perencanaan Tugas Akhir ini dapat diperoleh kesimpulan yaitu:

1. Spesifikasi kapal rencana:

- DWT : 30000 ton
- Displacement : 40000 ton
- Panjang kapal (LOA) : 178 m
- Lebar kapal (B) : 27,6 m
- Draft (D) : 9,5 m
- GRT : 19990 ton
- NET : 11200 ton

2. Struktur jetty yang direncanakan terdiri dari trestle, pivot, Radial Loading Platform, Mooring dan Breasting Dolphin dan catwalk.

3. Struktur trestle direncanakan beton bertulang cast in situ dengan spesifikasi:

- Dimensi struktur : $45 \times 4 \text{ m}^2$
- Dimensi balok melintang : $60 \times 90 \text{ cm}^2$
- Dimensi balok memanjang : $60 \times 90 \text{ cm}^2$
- Tebal pelat : 20 cm
- Mutu beton : K350
- Mutu baja : U32
- Poer pancang tunggal : $200 \times 200 \times 100 \text{ cm}^3$
- Tiang pancang : $\varnothing 508 \text{ mm}$, $t = 14 \text{ mm}$
 - Kemiringan tiang : 20 : 1
 - Kedalaman tiang miring : -14,02 m LWS

- Kedalaman tiang tegak : -14 m LWS

4. Struktur pivot direncanakan beton bertulang cast in situ dengan spesifikasi:

- Dimensi struktur poer ganda: $4 \times 4 \times 1,2 \text{ m}^3$
- Tebal pelat : 120 cm
- Mutu beton : K350
- Mutu baja : U32
- Tiang pancang : $\varnothing 812 \text{ mm}$, $t = 16 \text{ mm}$
 - Kemiringan tiang : 10 : 1
 - Kedalaman tiang : -15.2 m LWS

5. Struktur radial loading platform direncanakan beton bertulang cast in situ dengan spesifikasi:

- Dimensi struktur : $45 \times 4 \text{ m}^2$
- Dimensi balok : $80 \times 120 \text{ cm}^2$
- Mutu beton : K350
- Mutu baja : U32
- Poer pancang ganda : $200 \times 250 \times 60 \text{ cm}^3$
- Tiang pancang : $\varnothing 812 \text{ mm}$, $t = 16 \text{ mm}$
 - Kemiringan tiang : 10 : 1
 - Kedalaman tiang miring : -23,11 m LWS

6. Struktur Mooring Dolphin direncanakan beton bertulang cast in situ dengan spesifikasi:

- Dimensi struktur : $5.6 \times 5.6 \text{ m}^2$
- Tebal poer : 120 cm
- Mutu beton : K350
- Mutu baja : U32
- Dimensi boulder : Zalda 100 ton Tee Boulder
- Tiang pancang : $\varnothing 812 \text{ mm}$, $t = 16 \text{ mm}$

- Kemiringan tiang: 6 : 1
 - Kedalaman tiang miring : -20,27 m LWS
 - Kedalaman tiang tegak : -20.0 m LWS
7. Struktur Breasting Dolphin direncanakan beton bertulang cast in situ dengan spesifikasi:
- Dimensi struktur : 5,6 x 6,4 m²
 - Tebal poer : 120 cm
 - Mutu beton : K350
 - Mutu baja : U32
 - Dimensi fender : SCN 900 E 0.9
 - Tiang pancang : Ø812.2, t = 16
 - Kemiringan tiang : 8 : 1
 - Kedalaman tiang tegak : -26.0 m LWS
 - Kedalaman tiang miring : -27.0 m LWS
8. Struktur Catwalk direncanakan sebagai struktur rangka Circular Hollow Section dengan spesifikasi:
- Bentang Struktur : 18 m
 - Dimensi Balok utama : CHS 273 x 16
 - Dimensi Rangka balok : CHS 88.9 x 5
 - Lebar Injakan : 1.5 m
 - Tinggi Rangka : 1.5 m

Rencana anggaran biaya total yaitu sebesar Rp.
104.802.642.000,00,-





JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2012

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriani W., M.Sc.
Cahya Buana, ST., MT

MAHASISWA

Putri Arifianti
(3108 100 046)

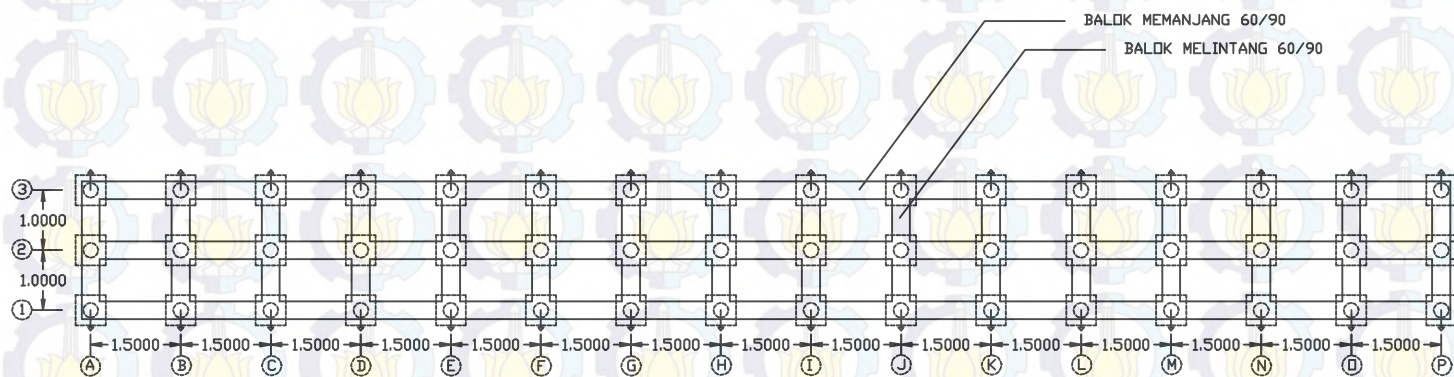
NAMA GAMBAR

Denah Pembalokan
Trestle

NO. GAMBAR

SKALA

CATATAN



Denah Pembalokan Trestle
Skala 1:200



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2012

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriani W., M.Sc.
Cahya Buana, ST., MT

MAHASISWA

Putri Arifianti
(3108 100 046)

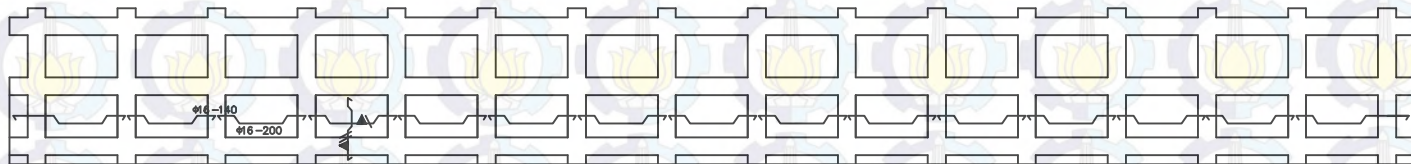
NAMA GAMBAR

Penulangan Pelat Trestle

NO. GAMBAR

SKALA

CATATAN



Penulangan Pelat Trestle

Skala 1:200



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2012

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriani W., M.Sc.
Cahya Buana, ST., MT

MAHASISWA

Putri Arifianti
(3108 100 046)

NAMA GAMBAR

Detail Penulangan
Poer Tunggal Trestle

NO. GAMBAR

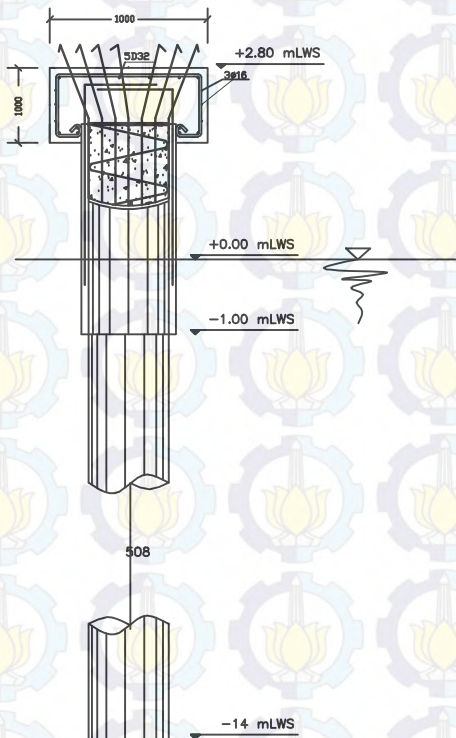
--	--

SKALA

--

CATATAN

--



Detail Penulangan Poer Tunggal

Skala 1:80



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2012

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriani W., M.Sc.
Cahya Buana, ST., MT

MAHASISWA

Putri Arifanti
(3108 100 046)

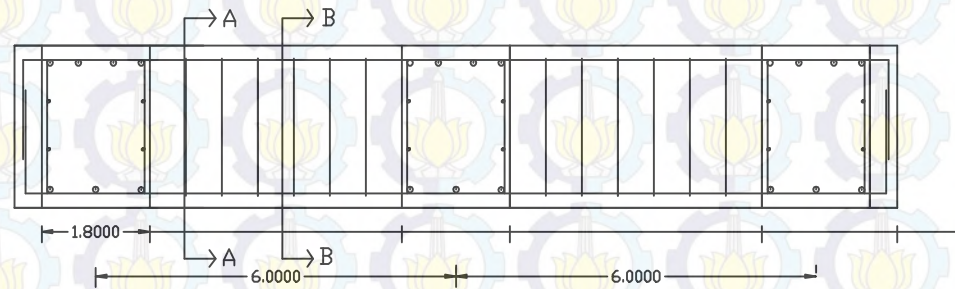
NAMA GAMBAR

Detail Penulangan Balok Melintang Trestle

NO. GAMBAR

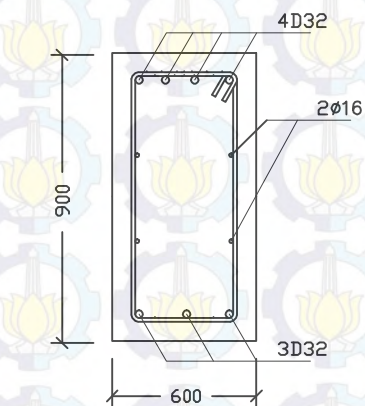
SKALA

CATATAN



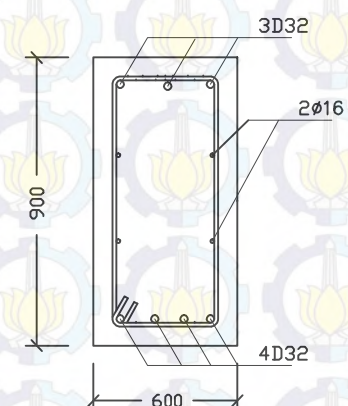
Detail Penulangan Balok Memanjang

Skala 1:50



Potongan A-A

Skala 1:25



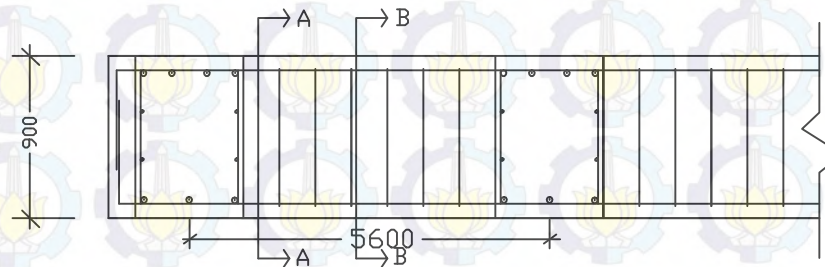
Potongan B-B

Skala 1:25



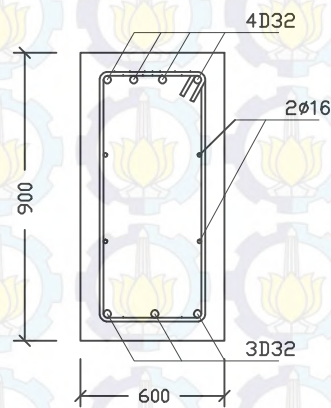
Detail Penulangan Balok Melintang

Skala 1:30



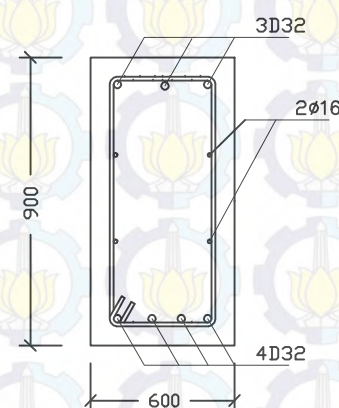
Detail Penulangan Balok Melintang

Skala 1:50



Potongan A-A

Skala 1:25



Potongan B-B

Skala 1:25



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2012

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriani W., M.Sc.
Cahya Buana, ST., MT

MAHASISWA

Putri Arifianti
(3108 100 046)

NAMA GAMBAR

Detail Penulangan
Balok Memanjang Trestle

NO. GAMBAR

SKALA

CATATAN



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2012

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriani W., M.Sc.
Cahya Buana, ST., MT

MAHASISWA

Putri Arifanti
(3108 100 046)

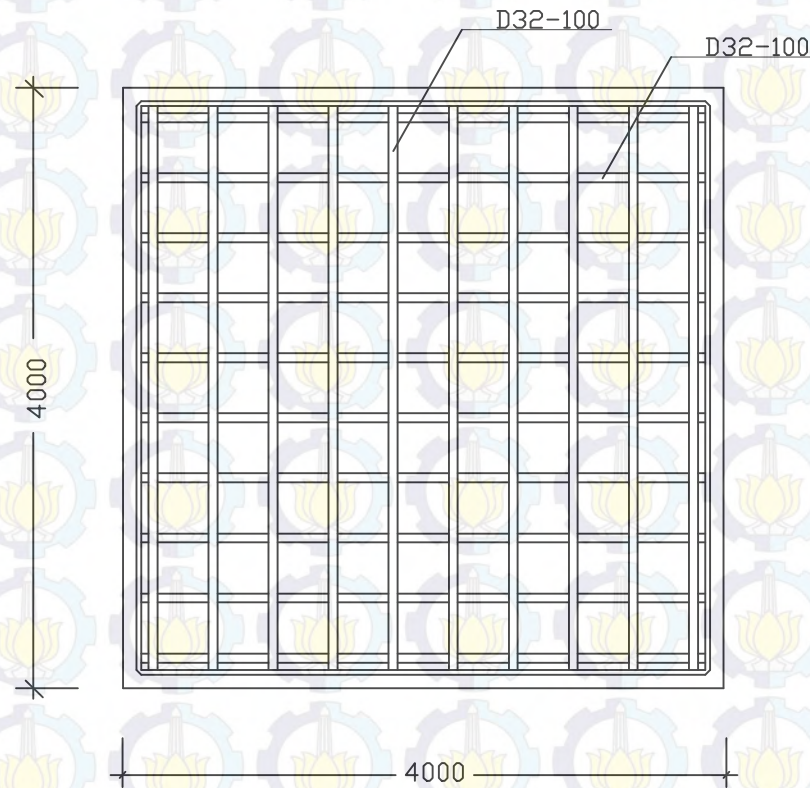
NAMA GAMBAR

Detail Penulangan Poer Pivot

NO. GAMBAR

SKALA

CATATAN



Detail Penulangan Poer Pivot

Skala 1:50



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2012

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriani W., M.Sc.
Cahya Buana, ST., MT

MAHASISWA

Putri Arifianti
(3108 100 046)

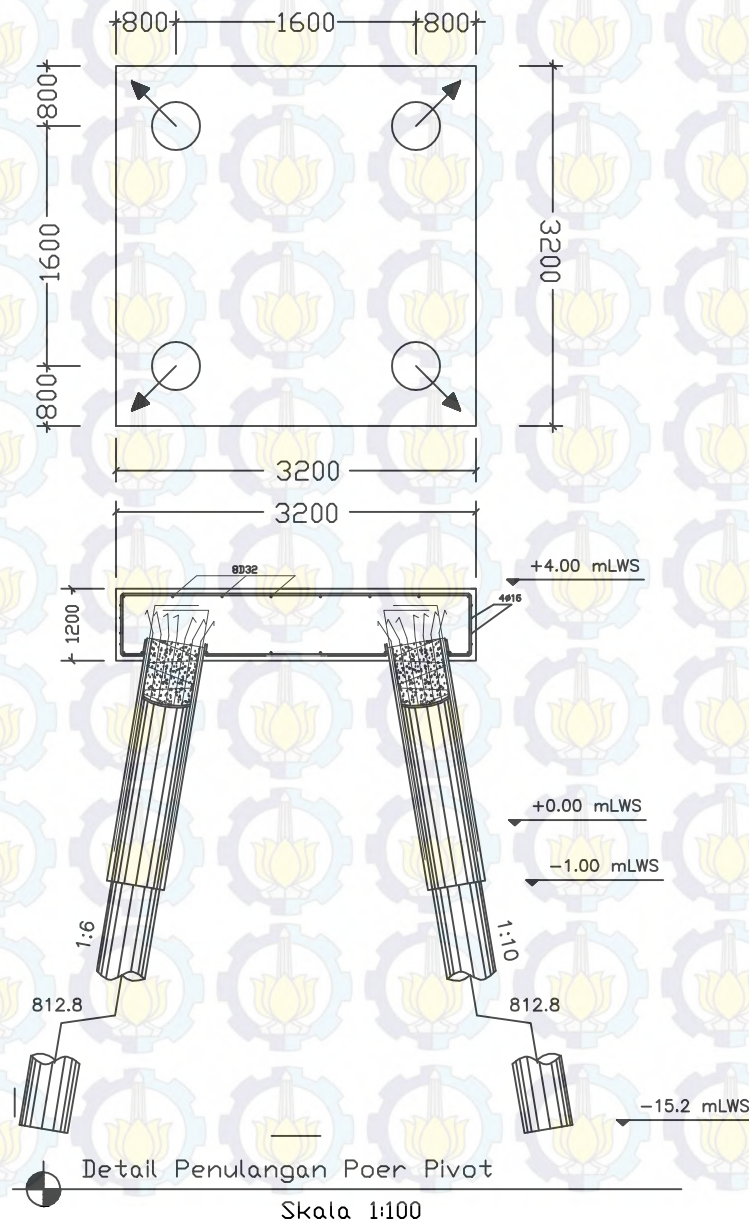
NAMA GAMBAR

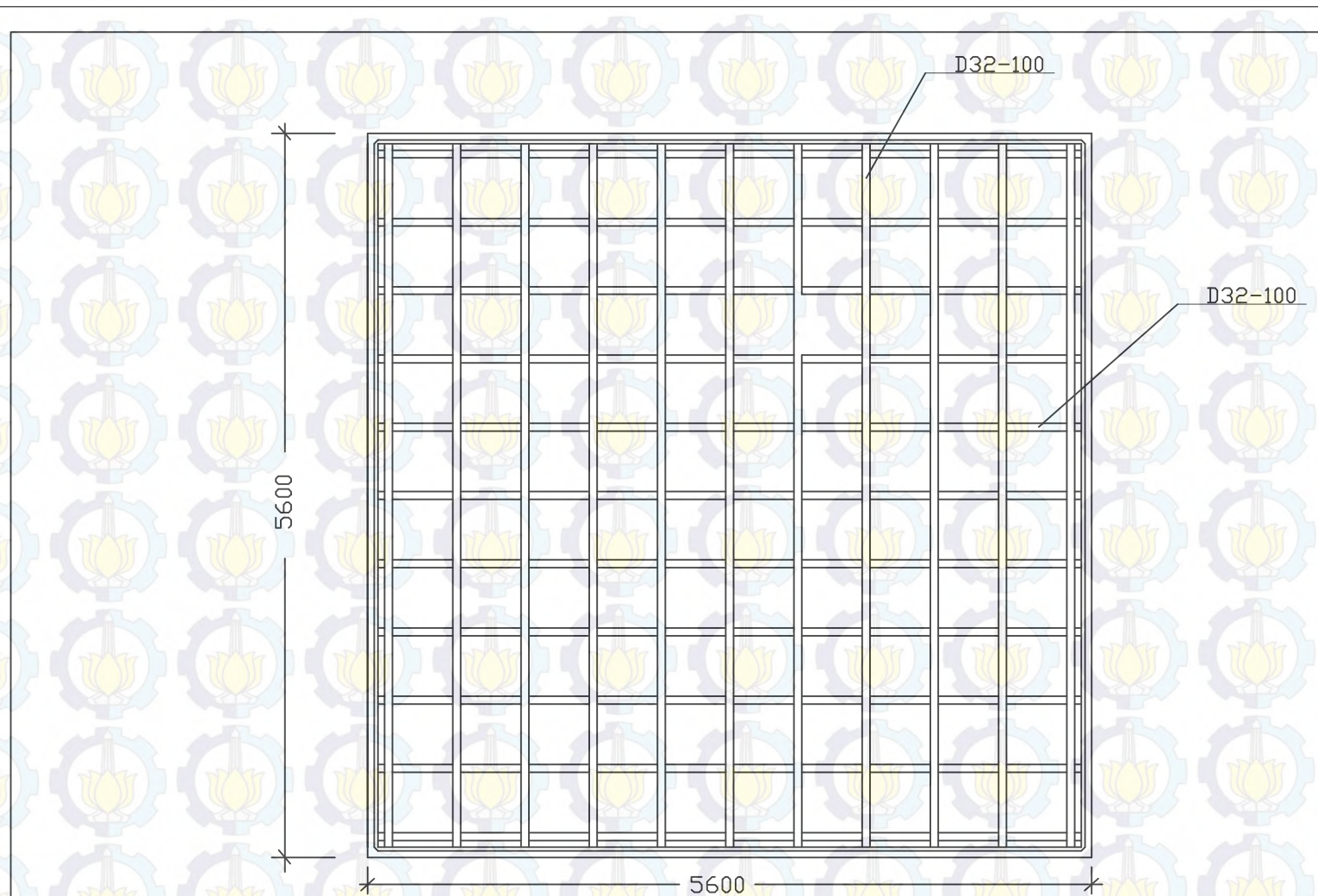
Detail Penulangan
Pancang Pivot

NO. GAMBAR

SKALA

CATATAN





Detail Penulangan Poer Mooring Dolphin

Skala 1:50



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2012

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriani W., M.Sc.
Cahya Buana, ST., MT

MAHASISWA

Putri Arifianti
(3108 100 046)

NAMA GAMBAR

Detail Penulangan Poer
Mooring Dolphin

NO. GAMBAR

SKALA

CATATAN



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2012

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriani W., M.Sc.
Cahya Buana, ST., MT

MAHASISWA

Putri Arifianti
(3108 100 046)

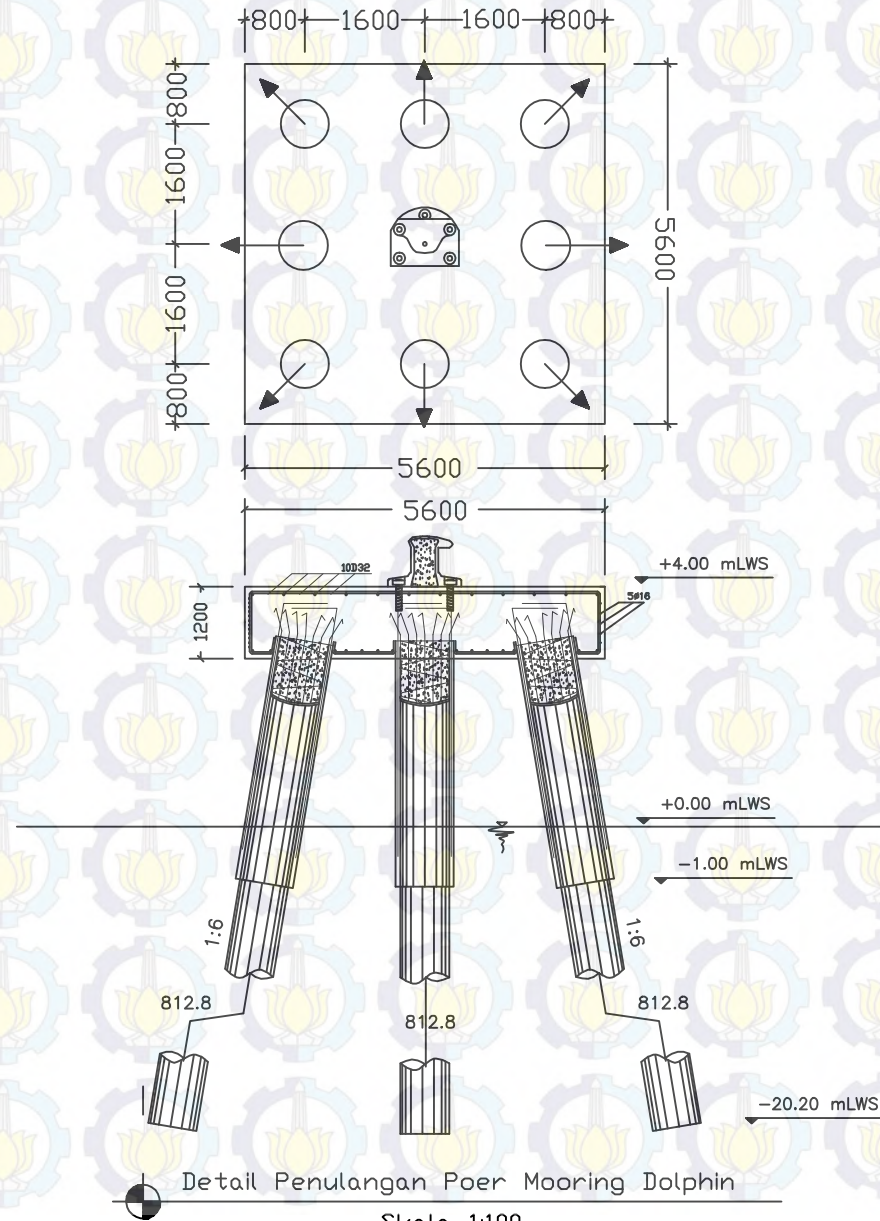
NAMA GAMBAR

Detail Penulangan
Pancang Mooring Dolphin

NO. GAMBAR

SKALA

CATATAN





JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2012

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriani W., M.Sc.
Cahya Buana, ST., MT

MAHASISWA

Putri Arifianti
(3108 100 046)

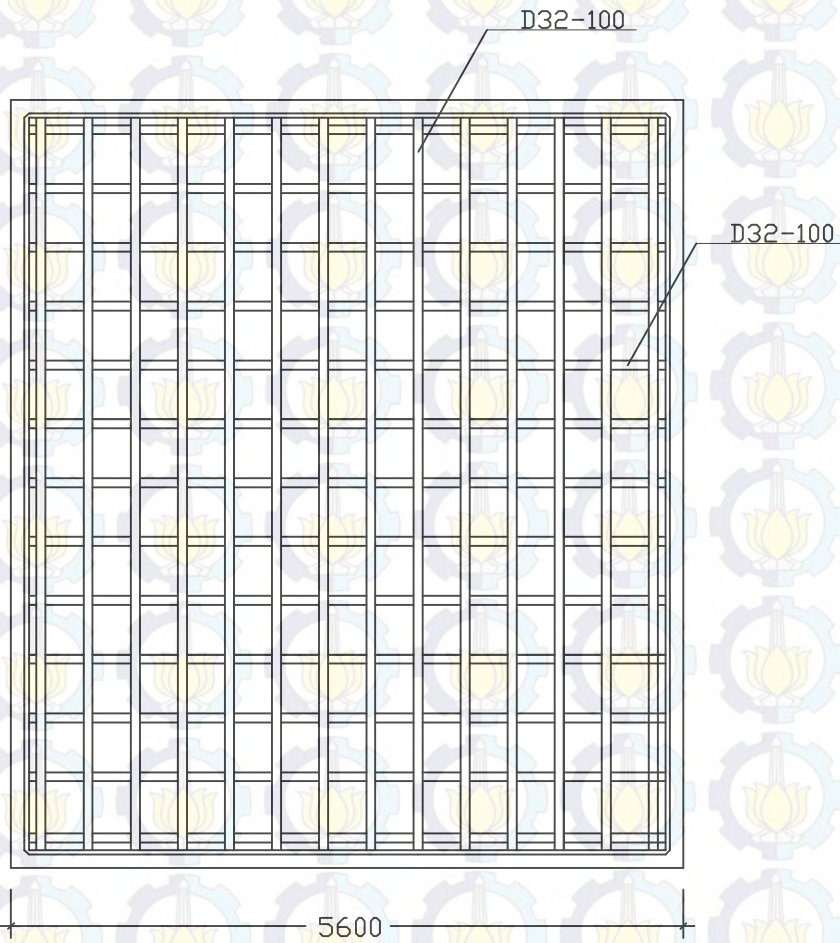
NAMA GAMBAR

Detail Penulangan
Poer Breasting Dolphin

NO. GAMBAR

SKALA

CATATAN



Detail Penulangan Poer Breasting Dolphin

Skala 1:50



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2012

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriani W., M.Sc.
Cahya Buana, ST., MT

MAHASISWA

Putri Arifianti
(3108 100 046)

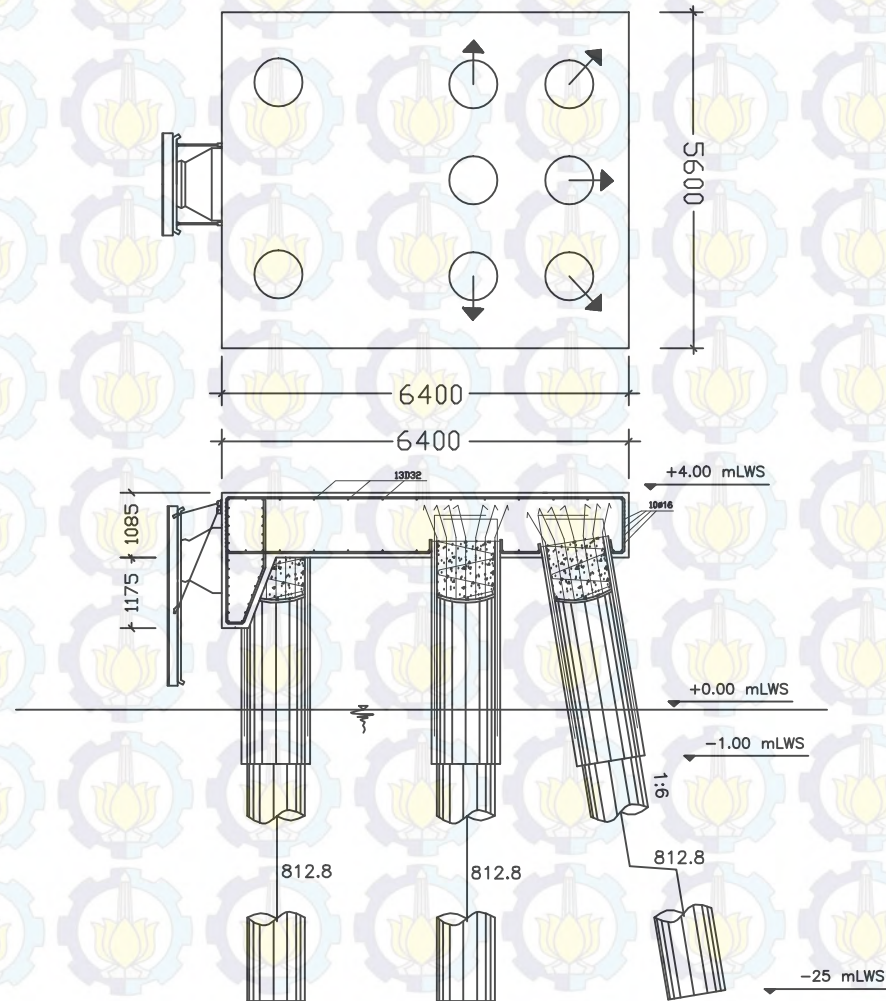
NAMA GAMBAR

Detail Penulangan
Pancang Breasting Dolphin

NO. GAMBAR

SKALA

CATATAN



Detail Penulangan Paer Breasting Dolphin

Skala 1:100



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2012

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriani W., M.Sc.
Cahya Buana, ST., MT

MAHASISWA

Putri Arifianti
(3108 100 046)

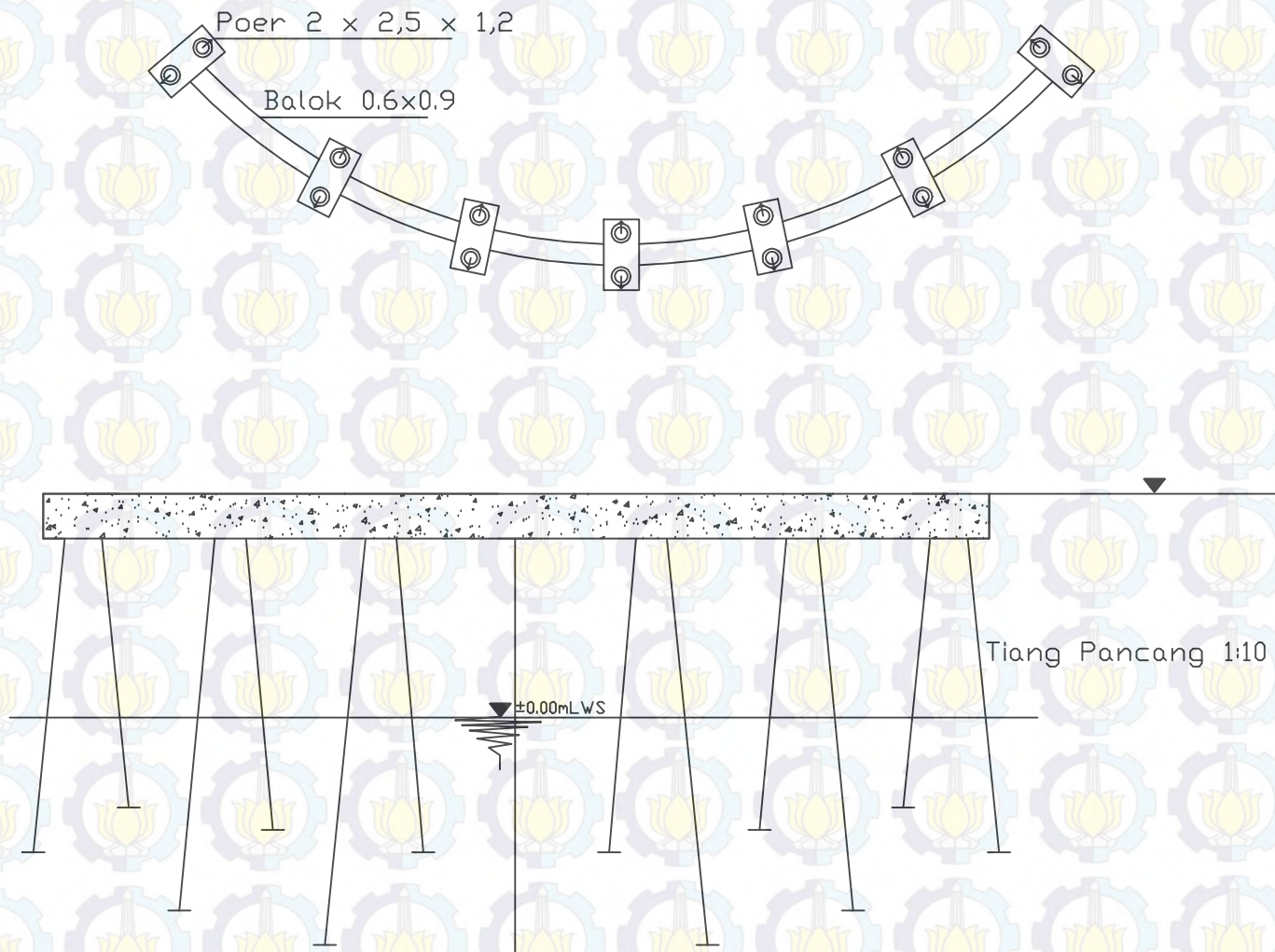
NAMA GAMBAR

Radial Loading Platform

NO. GAMBAR

SKALA

CATATAN





JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2012

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriani W., M.Sc.
Cahya Buana, ST., MT

MAHASISWA

Putri Arifianti
(3108 100 046)

NAMA GAMBAR

Potongan Melintang Balok
Radial Loading Platform

NO. GAMBAR

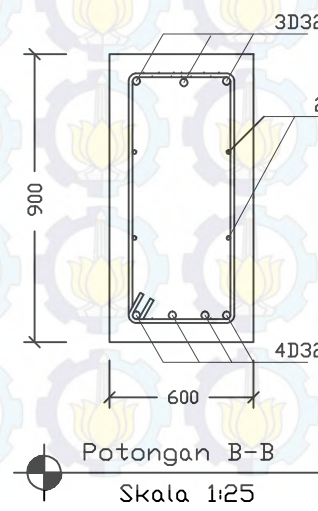
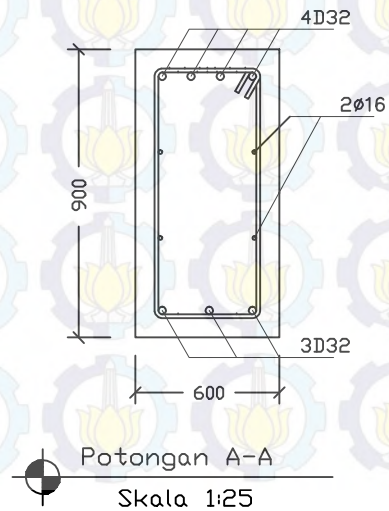
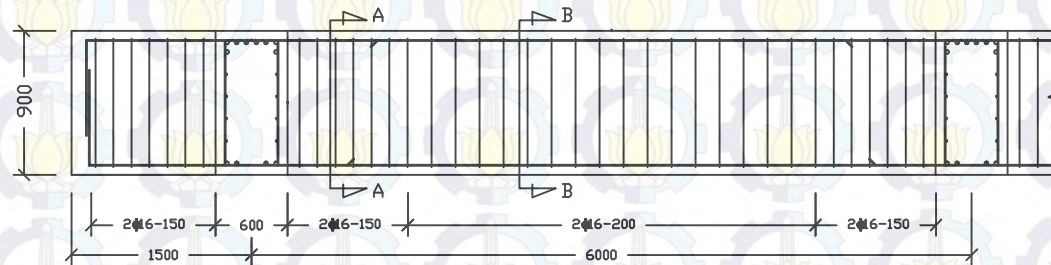
--	--

SKALA

--

CATATAN

--





JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS
SURABAYA
2012

JUDUL TUGAS

Tugas Akhir Pelabuhan

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Dyah Iriani W., M.Sc.
Cahya Buana, ST., MT

MAHASISWA

Putri Arifianti
(3108 100 046)

NAMA GAMBAR

Detail Penulangan Pancang
Radial Loading Platform

NO. GAMBAR

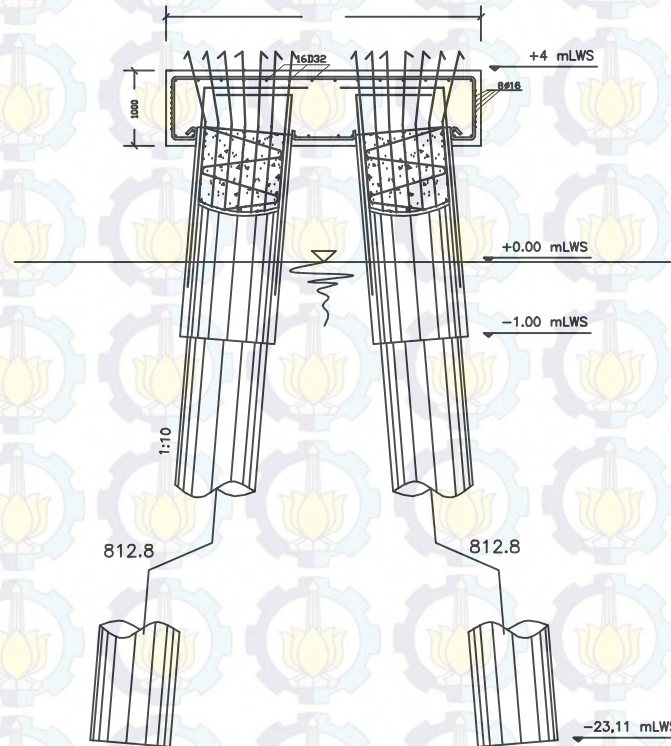
--	--

SKALA

--

CATATAN

--



BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di kota Ambon pada tanggal 5 September 1989 dengan nama lengkap Putri Arifianti. Penulis adalah anak kedua dari dua bersaudara. Selama ini penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri Gedongan 3 Mojokerto, SMP TNH Mojokerto, SMA Negeri 1 Puri Mojokerto.

Setelah lulus dari SMA, Penulis mengikuti Seleksi Penerimaan Mahasiswa Baru (SPMB) dan diterima di jurusan Teknik Sipil ITS pada tahun 2008. Setelah menempuh masa kuliah selama 8 semester, akhirnya gelar sarjana teknik diperoleh dengan menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Perencanaan Dermaga Curah Urea di Kota Bontang, Kalimantan Timur” pada tahun 2012.

Email : putri.arifianti@gmail.com